
4.0
LA NUEVA
REVOLUCIÓN
INDUSTRIAL
ALIANZA
EDITORIAL
PATRIZIO
BIANCHI


4.0
LA NUEVA
REVOLUCIÓN
INDUSTRIAL
ALIANZA
EDITORIAL
PATRIZIO
BIANCHI

Patrizio Bianchi

4.0
La nueva revolución industrial

Alianza editorial

Índice

Prólogo

De lo más profundo de una larga crisis surge una industria que, desde 2011 y siguiendo la definición del gobierno alemán, llamamos «industria 4.0». De todo el complejo proceso de transformación que la ha originado se suele dar una lectura sobre todo tecnológica, que hace hincapié en el impacto, cada vez más relevante, que esta implica no solo en lo referido a la fabricación de artículos, sino también a los servicios: desde el comercio hasta el cuidado personal y a los servicios a la comunidad. El internet de las cosas, la inteligencia artificial, la robótica, los vehículos autónomos y los drones, la realidad virtual, la cadena de bloques, el rastreo digital o la impresión 3D son tecnologías que, al acumularse e integrarse en un contexto de interconexión total cada vez más denso, están cambiando nuestras vidas. Sin embargo, esta lectura no es suficiente, y debemos preguntarnos qué elementos novedosos y extraordinarios y qué rasgos continuativos implica realmente el cambio estructural de la economía mundial al que nos referimos con la seductora etiqueta de industria 4.0, para la que incluso se habla de una «nueva revolución industrial».

En otras palabras, si para esta reorganización que está afectando a la industria, al comercio, a nuestra vida, usamos –y yo creo que acertadamente– un término tan radical como «revolución», debemos posicionar todas nuestras reflexiones en una perspectiva amplia, que permita ver en su conjunto las grandes transformaciones que han estructurado y conmocionado nuestro mundo en los últimos siglos, en los que la industria se ha convertido en el motor mismo del crecimiento, de la riqueza y, a veces, de la ruina de países enteros. Una industria que aquí consideramos como la producción organizada que no persigue la supervivencia de pequeños grupos familiares cerrados o la protección de un señor feudal, sino que tiene como objetivo el mercado; esto es, un sistema social en el que, entre iguales (entre personas que poseen los mismos derechos y los mismos deberes), se produce el intercambio de propiedades de bienes que se crearon para la venta en un contexto en el que otros

individuos tienen la capacidad de vender bienes comparables y, por ende, competitivos. Este intercambio se basa en una organización del trabajo que debe definirse precisamente en el seno de ese ámbito de fuerzas competitivas que interactúan y que llamamos «mercado».

Para poder entender mejor lo que está sucediendo hoy en día, volveremos a los orígenes y reconstruiremos la historia de las revoluciones industriales, partiendo de la gran revolución industrial inglesa del siglo XVIII , que inaugura a todos los efectos la extensa era del capitalismo industrial.

La revolución industrial, descrita por Adam Smith en 1776, hunde sus raíces hasta la revolución política de 1688-89, de la que surgió una clase de hombres nuevos que –sin derechos por nacimiento– podían afirmarse a sí mismos usando sus competencias, sus conocimientos, las tecnologías que su época ponía a su disposición y que ellos transformaron en una herramienta para el ascenso social. Sin embargo, esta revolución industrial también fue posible gracias a la revolución científica de Isaac Newton, que descubrió las fuerzas que –más allá de la metafísica– regulaban las mecánicas celestes, y a la revolución cultural de John Locke, que extendió esta visión científica basada en la interacción de sujetos independientes a las dinámicas de toda la sociedad.

Del mismo modo, no se puede entender la cuarta revolución industrial sin advertir las profundas transformaciones políticas y culturales que se han producido desde la desintegración del mundo bipolar que nació de la Segunda Guerra Mundial, sin comprender plenamente el sentido de esa globalización que ha situado en el centro de la economía del planeta a países que hasta el final del siglo pasado se encontraban al margen del crecimiento mundial, partiendo de China, que hoy en día es principal actor de este mundo global.

Asimismo, es imposible comprender el significado de «revolución industrial» sin contar con esas auténticas revoluciones que, a principios del siglo XX , cambiaron por completo la ciencia al introducir la teoría de la relatividad y la física cuántica, y al cambiar el modo de concebir la materia. Se despejó, así, el camino, entre otras cosas, a la digitalización, esencial para la nueva sociedad 4.0. Por tanto, tampoco se puede captar la esencia del mundo actual sin advertir cómo la extensa historia de las tecnologías de la información hunde sus raíces en las ecuaciones de Maxwell, que a mediados del siglo XIX sintetizaron los estudios sobre el electromagnetismo, ni sin entender cómo, partiendo de esta formulación teórica, se llegó a los

experimentos de Marconi y a todos los desarrollos posteriores que, al combinar y sintetizar las distintas ciencias, llevaron a internet. La hiperconexión continua, que cada instante actúa sobre nuestras vidas, une fases productivas, máquinas, robots que, aunque se encuentren dispersos por distintas partes del mundo, se convierten en segmentos de una misma fábrica virtual que se define, no tanto por los flujos de «producción hecha» (es decir, la transformación tangible del producto físico), sino por los flujos de «producción por hacer», compuesta por algoritmos, aplicaciones y, sobre todo, datos, datos y más datos que constituyen el auténtico motor de esta nueva revolución industrial.

La nueva revolución industrial, que llamamos 4.0 como metáfora de las revoluciones que han tenido lugar en la historia del capitalismo industrial, promete superar la contradicción de las formas previas de industrialización. En estas, la capacidad del artesano de producir bienes personalizados se sustituyó por la producción en masa de la época fordista –con grandes instalaciones que producían bienes homogéneos para una competencia de precio–; ahora se ha llegado a una producción de grandes volúmenes, pero de bienes personalizados.

Por ejemplo, en el ámbito médico, ha aumentado la posibilidad de responder a las necesidades de los individuos, en lugar de con un fármaco estándar cuya dosis habría que variar (una o dos pastillas al día), con terapias personalizadas. Estas son fruto del desarrollo industrial de la investigación sobre el genoma humano, que permitió descubrir la simple verdad de que cada uno de nosotros es indistintamente diferente a los demás.

La revolución industrial es, por consiguiente, una revolución no tanto porque ponemos a los robots en el lugar de los trabajadores individuales, sino porque esas máquinas son los tótems de las grandes transformaciones sociales, científicas y políticas que conducen hasta nosotros. Por otra parte, las revoluciones industriales destruyen trabajo y crean trabajo, pero, sobre todo, transforman el trabajo y todos los vínculos sociales ligados a la organización del trabajo. Al mismo tiempo, generan situaciones en las que conviven empresas en crisis y la irrupción de otras nuevas, desempleados y falta de competencias esenciales para el surgimiento de nuevas realidades productivas, el retorno a trabajos degradados y a nuevos y elegantes negocios, pero, ante todo, decaen las viejas y consolidadas rutinas de mediación y representación social, desaparecen los viejos valores y, con

dificultad, emergen nuevos sentimientos compartidos y característicos de una sociedad en profunda transformación.

Si queremos considerar la industria 4.0 como el símbolo de una nueva revolución industrial, para captar toda su complejidad deberemos remontarnos a la producción, esto es, al modo en que se estructuran el trabajo y el capital en el seno de una organización que se dedica específicamente a crear valor mediante la transformación de recursos materiales o inmateriales en bienes para las personas o la comunidad. La economía política clásica ya se ocupó, hace tiempo, de esta cuestión, si bien esta atención fue sustituida por el énfasis en los intercambios, en la competitividad basada simplemente en los precios y en el comercio. La vuelta a un análisis de la producción como factor primario para explicar la relación entre cambio estructural y dinámica económica está vinculada con la denominada Escuela Italiana de Cambridge, desde Piero Sraffa hasta Luigi Pasinetti y Roberto Scazzieri.

Comencemos, por lo tanto, por el principio, por la primera revolución industrial, aquella a la que hoy llamaríamos «industria 1.0», para después trazar rápidamente las características de la segunda –la del fordismo y la producción en masa, la de la cadena de montaje– y, por último, de la tercera revolución industrial, en la que se llevó a cabo una producción diferenciada y en la que surgieron las tecnologías de la información y de la comunicación. Así llegaremos a nuestro tiempo, a la conexión continua de todos y de todo, a la inteligencia artificial y aumentada, a las mil innovaciones que, cada día, nos abren nuevos mundos.

Con todo, creo que aún en la actualidad sigue siendo crucial la sencilla verdad que Adam Smith escribió ya en 1776: la riqueza de las naciones se basa en el modo mismo de organizar las competencias, las habilidades operativas y la inteligencia, que hacen que el trabajo de las personas sea capaz de generar un valor añadido proveniente de la transformación de una materia inerte en un bien, en un servicio que satisface las necesidades de otros individuos.

Este breve libro se conforma con abrir los cajones de la curiosidad, con esbozar una idea, pero una idea que sirva para encender el deseo de seguir reflexionando sobre la materia.

1. La revolución industrial

Las causas de la riqueza de las naciones

Comencemos, así pues, nuestro viaje con las palabras con las que se abre *La riqueza de las naciones* (o, mejor dicho, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations,* en adelante WN) de Adam Smith. Se trata de las páginas de la obra que podemos considerar el punto de partida de la economía política, pero también de la obra que encarna y da dignidad y legitimidad a la primera gran revolución industrial que sacudió Gran Bretaña y, desde allí, se extendió por todo el mundo desde los primeros años del siglo XVIII .

Escribe Smith en el comienzo mismo de su trabajo:

> The greatest improvement in the productive powers of labour, and the greater part of the skill, dexterity, and judgement with which it is anywhere directed, or applied, seem to have been the effects of the division of labour (WN, I, 1, 1).

El mayor progreso de la capacidad productiva del trabajo –«productiva» en cuanto capaz de generar y añadir valor a las materias primas– y la mayor parte de la habilidad *(skill),* de la destreza *(dexterity)* y del juicio *(judgement)* con que este trabajo se ha activado parecen haber sido los efectos de la organización misma de la producción (la *division of labour),* esto es, del modo en que el trabajo se articula en especialidades y se recompone mediante una acción que hace que estas sean complementarias y, por tanto, se puedan estructurar en un sistema que resulte eficiente (que reduzca los costes y los tiempos muertos) y también eficaz (capaz de producir bienes que respondan a las necesidades que activaron la demanda de esos mismos bienes).

El primer significado auténtico de la revolución industrial, de aquella revolución industrial que se encuentra en la base de la historia del capitalismo, se halla en las palabras de Smith. La riqueza de una nación no reside en las joyas de la corona, ni en las tierras de los latifundistas, ni tampoco –como podríamos decir hoy– en la riqueza acumulada a través de

especulaciones financieras más o menos atrevidas, como las que causaron el crac de la economía mundial de 2007. La riqueza de las naciones radica en la capacidad de hacer que el trabajo sea productivo; no el trabajo de los esclavos, ni los servicios que los vasallos debían al señor en el marco del derecho feudal, sino aquel trabajo que se basa en la habilidad, en la capacidad operativa y en el espíritu crítico y que, organizado adecuadamente, puede generar un valor que enriquezca las materias primas, la tierra, de inteligencia humana. La capacidad productiva del trabajo depende del modo en que este se organiza, del modo en que la producción se gestiona.

La segunda frase que nos ayuda a entender mejor el significado revolucionario del cambio que Smith sintetizaba en sus palabras se encuentra al comienzo del tercer capítulo de *La riqueza de las naciones:*

> As it is the power of exchanging that gives occasion to the division of labour so the extent of this division must always be limited by the extent of that power, or, in other words, by the extent of the market (WN, I, 3, 1).

Traducido literalmente:

> Así como la capacidad de intercambiar da lugar a la división del trabajo, así la profundidad de esta división debe estar siempre limitada por la extensión de esa capacidad, o, en otras palabras, por la extensión del mercado [1] *(extent of the market)* .

¿Cómo leer lo que parece un juego de palabras? Esta frase se debe interpretar según las condiciones de aquel 1776, que también fue el año de la revolución americana, de la revuelta de las colonias contra los antiguos poderes al grito de *«No taxation, without representation!»* (es decir, no a las imposiciones fiscales si estas no conllevan una participación efectiva en la vida pública) en nombre de las nuevas libertades para los intercambios económicos y políticos que se encontraban en la base de la nueva sociedad. La frase de Smith significa que una organización de la producción que persiga generar valor, una organización que gire en torno a la capacidad productiva del trabajo, existe en la medida en que existe una libertad de intercambio entre personas igualmente libres y no sujetas a las obligaciones del vasallaje feudal. Smith resume una extensa historia de pensamiento científico y de acontecimientos políticos que cambiaron la configuración de Inglaterra. Al escribir que la capacidad de organizar la producción debe tener en cuenta los límites que se ponen a la efectiva extensión de esos

poderes de intercambio que él mismo denomina «mercado», aclara que el espacio en el que hay que buscar la eficiencia de la organización productiva debe provenir de la interacción con otros productores, con otros competidores, en un contexto en el que todos interactúan entre sí, si bien con distinta incidencia y con distinta fuerza, y es precisamente esta interacción la que hace que el sistema social sea dinámico.

En conclusión, la capacidad de emplear de un modo productivo el trabajo y de enriquecerlo con grandes avances, utilizando sus habilidades, su destreza y su juicio, depende del modo mismo en que el trabajo y, por ende, la producción se organizan. Al mismo tiempo, la organización de la producción debe estructurarse de acuerdo con el mercado al que se refiere o, mejor dicho, de acuerdo con el conjunto de relaciones de poder de intercambio que llamamos mercado. De este modo, aumentará el poder de mercado relativo con respecto a los demás sujetos agentes del sistema económico y social y, por lo tanto, político.

Estos principios son el eje de esta lectura de las revoluciones industriales. Desde luego, podemos identificar toda una fase del desarrollo productivo de un país partiendo de una tecnología representativa: el vapor en la primera revolución industrial (desde mediados del siglo XVIII hasta la segunda mitad del XIX), la electricidad y también el motor de combustión interna en la segunda revolución industrial (desde finales del siglo XIX hasta la década de 1950), el ordenador y las telecomunicaciones en una tercera revolución industrial (desde finales de los años cincuenta hasta el ocaso del siglo XX) y, hoy, internet, el *big data* o la inteligencia artificial, propios de esta fase a la que nos referimos como cuarta revolución industrial.

La revolución industrial es tal, sin embargo, en la medida en que implica a toda la sociedad, al cambiar sus estructuras y al modificar las relaciones de poder. Con ello surgen nuevos modos de organizar la producción, de generar un valor que puede adquirirse y distribuirse de distintas formas.

En efecto, el mercado no es una entidad abstracta e informe, una divinidad ante la que postrarse, sino que se trata de un conjunto de fuerzas y, por consiguiente, de poderes contrapuestos, que pueden cambiar en el tiempo por la llegada de nuevos competidores o por el surgimiento de nuevas necesidades. Por ello, en el seno de este mundo en movimiento se proyecta, organiza y gestiona la producción, esto es, la *skill,* la *dexterity* y aquel *judgement* que permiten generar valor y, por tanto, invertir aumentando el poder relativo de algunos competidores con respecto a otros.

A veces, esta dinámica obliga a adoptar posiciones dominantes sobre todos los sujetos contrapuestos, de modo que se crean las premisas para el surgimiento de estructuras «neofeudales» que llevarán a nuevos bloques sociales y a nuevos cambios radicales. Smith, por ejemplo, se muestra contrario al monopolio, no tanto porque altere la distribución de los recursos, sino porque restaura estructuras feudales en las que alguien domina las elecciones de los demás y, con ello, determina la dinámica de todo el sistema.

La eficiencia de la producción

Muchos fueron los autores que en el pasado estudiaron las palabras de Smith y pocos han sido los que les han prestado atención en tiempos más recientes. En 1832, Charles Babbage retomó la cuestión de la organización de la producción partiendo de Smith. Smith describe en su libro cómo se puede organizar la producción de los alfileres para mejorar significativamente la capacidad productiva del trabajo; lo hace comparando el trabajo de un artesano que fabrica alfileres en su propio taller con el de una fábrica que se ordena sobre la base del principio de organización del trabajo.

En su taller, el artesano desempeña, él mismo, cada una de las actividades necesarias para transformar un bloque de mineral de hierro en alfileres brillantes y bien afilados agrupados en una caja. Se trata de actividades diversas entre sí: desde la fundición del mineral de hierro para extraer una materia incandescente que se pueda trabajar en caliente y cortar con facilidad hasta el enfriamiento rápido necesario para atemperar los metales. Después, serán necesarios los trabajos en frío de pulido, abrillantado, comprobación y empaquetado antes de que el producto esté terminado. En caso de que se desease incrementar la producción de alfileres, sería necesario poner en paralelo a distintos artesanos, cada uno de los cuales –según sus propios tiempos– podría producir una cierta cantidad de alfileres, que serían diferentes entre sí y responderían a una demanda no homogénea.

Smith, que toma este ejemplo de los enciclopedistas franceses, habla de la manufactura como de una organización que utiliza a estos mismos artesanos, pero especializa a cada uno de ellos en una distinta fase, para la

cual se crea la maquinaria apropiada. El ciclo de producción, que antes se desarrollaba de modo continuo porque la misma persona se ocupaba de distintas actividades, una tras otra, ahora consta de unas determinadas fases, cada una de las cuales requiere distintas habilidades, distintas destrezas, distintos utensilios, distintas máquinas y distintos tiempos.

La eficiencia de la producción deriva, por tanto, de la especialización de los individuos, pero también del surgimiento de una figura que se ocupará, precisamente, de organizar el ciclo productivo y de identificar la complementariedad entre las distintas actividades que se lleven a cabo. Esta figura es la de un empresario capaz de gestionar la producción y, además, de organizarla según el mercado en el que desee insertarse.

Sin embargo, ya en los primeros años del siglo XIX Babbage destacó que no bastaba con sumar las distintas especializaciones entre sí en un ciclo productivo, sino que era necesario «pesar» y «reequilibrar» las distintas fases para evitar que se generasen tiempos muertos entre una ellas. De lo contrario, se corre el riesgo de que se acumulen bienes semitrabajados a la espera de la siguiente fase de producción, lo que interrumpirá la continuidad del flujo.

El principio sobre el que se basa la especialización –ya presente en Smith en los primeros capítulos de *La riqueza de las naciones* – está aquí muy claro: al repetir a lo largo del tiempo las mismas actividades, ya sean fáciles o complejas, se aprende, y por ende, al aplicar estas capacidades de aprendizaje a la producción, las habilidades, las destrezas y la capacidad crítica –la *skill,* la *dexterity* y el *judgement* ya referidos– mejoran gracias a la experiencia, pero también al estudio y a la investigación. Estas innovaciones conllevan una reducción de los tiempos de elaboración, pero también una mejora en la ejecución del trabajo, de modo que se añade valor a la producción. Esto permite, igualmente, el desarrollo de instrumentos de producción y de máquinas específicas, útiles para mejorar los tiempos y los modos de producción y para la búsqueda de soluciones técnicas más adecuadas o, incluso, alternativas para la elaboración de un determinado bien. La aplicación del mismo principio –que quisiera denominar de «aprendizaje activo»– a la búsqueda de otros aspectos complementarios atrae la habilidad y la capacidad crítica de quien asume la función de organizador y gestor de todo el ciclo productivo, es decir, del empresario o del dirigente. Podemos definir estas ventajas ligadas al aprendizaje activo como «economías de escala dinámicas».

Babbage nos recuerda que, si ponemos en marcha un ciclo productivo (por ejemplo, la misma manufactura de alfileres que Smith describía) en fases de producción, cada una de ellas con distintas modalidades de aprendizaje y de ejecución (por ejemplo, la fusión de los alfileres y el abrillantado de los productos finales), tendríamos que calcular el número de trabajadores y de máquinas especializadas que se deberían concentrar en cada fase con el fin de que se garantizase un flujo continuo de producción. Con ello, no se correría el riesgo de que entre dos fases se acumulase material no terminado o se produjesen tiempos muertos. Como recientemente ha afirmado Roberto Scazzieri, cuanto mayores sean los volúmenes de producción, más capaces seremos de distinguir, articular y equilibrar las distintas actividades especializadas haciendo más eficiente todo el ciclo de producción, pues será más fácil que cada una de las fases individuales alcance una dimensión técnica mínima de escala que la convierta en individualmente eficiente. Con esto, el flujo productivo se hará lineal, los tiempos muertos desaparecerán y se maximizará la productividad del proceso. Las ventajas relacionadas con la dimensión de la producción se pueden denominar «economías de escala estáticas».

A grandes rasgos, podemos decir que las economías de escala estáticas, las que están vinculadas al volumen de la producción, ganan en relevancia en las fases en las que los bienes son homogéneos, la competencia es de precio y el desarrollo es constante. En cambio, las economías dinámicas adquieren una mayor importancia cuando prevalece la necesidad de cambio y es necesario recurrir a los conocimientos y a las habilidades, pero también a las capacidades críticas para poder intervenir en el ciclo productivo y variar la producción, en parte para modificar la calidad de los bienes ofertados.

A lo largo de la historia se pueden identificar distintas fases que se caracterizan por distintas tecnologías y organizaciones de la producción. Hablaremos, por tanto, de «regímenes tecnológicos distintos», caracterizados por un conjunto de conocimientos científicos, aplicados, de modelos organizativos, que, a su vez, responden a distintas extensiones del mercado; esto es, a distintas configuraciones de poder, a distintas necesidades y a distintas condiciones políticas.

Asimismo, se pueden analizar las fases de ruptura que llevan de un régimen tecnológico a otro. John Hicks y, después, el mismo Scazzieri estudiaron esta «travesía» a lo largo de la cual acaece la profunda

transformación, donde no solo cambian las tecnologías, sino que también mutan las organizaciones de la producción y las competencias requeridas para activar el proceso productivo. Desde esta perspectiva, la gran revolución industrial inglesa del siglo XVIII supone una ruptura entre un régimen productivo anterior, que se caracteriza por procesos fragmentados y dirigidos a la producción local, y un nuevo régimen tecnológico. Este nuevo régimen permite producir bienes a mayor escala, que se venderán en mercados de más amplia extensión, utilizando tecnologías y organizaciones de fábrica que concentran la producción de modo que se alcancen economías de escala estáticas que produzcan bienes a un coste unitario inferior a lo que supondría su realización según los parámetros de la producción individual.

Por ejemplo, para la producción de telas de algodón, de lana o de seda se han utilizado, desde tiempos inmemorables, los molinos de agua: una noria movida por un caudal de agua canalizada activaba los telares mecánicos, que eran idénticos a los telares manuales que se venían empleando desde la Antigüedad. Se trataba de instalaciones de producción limitada, pues para aumentar su volumen era necesario poner en funcionamiento distintos molinos en paralelo. Esto permitía una cierta flexibilidad, puesto que, si la demanda caía, se podía cerrar un molino, o si se deseaba un producto parcialmente diferenciado, se podía intervenir en distintos procesos de forma paralela.

Con la introducción de la máquina de vapor fue posible prescindir de la necesidad de agua que tenía el molino y regularizar su actividad, pero también organizar los ciclos productivos al multiplicar las fases individuales, de modo que se incrementaron las dimensiones de la fábrica.

Partiendo de este ejemplo deberíamos preguntarnos si, a fin de cuentas, la revolución industrial no es más que el salto que conlleva una innovación tecnológica: el telar movido por el brazo del hombre, o por una noria de agua, o por una máquina de vapor, o por un motor de combustión interna, o eléctrico, o, al final, por un chip.

Es obvio que la máquina de vapor aceleró esta transformación al ser capaz de concentrar la fuerza motriz para poner en funcionamiento todas las fases de la producción. No obstante, es necesario examinar las condiciones políticas y sociales en las que se han producido estos cambios tecnológicos y el impacto social de esta transformación productiva o, simplemente, deberíamos preguntarnos por qué en un determinado momento histórico

alguien pudo adoptar esas tecnologías para su propia afirmación social, cambiando las relaciones de poder que regían la sociedad.

Revoluciones científicas y revoluciones políticas

En realidad, los orígenes y las causas de la revolución industrial descrita por Smith en 1776 hunden sus raíces tanto en la revolución política como en la revolución científica y cultural de los últimos años del siglo XVII . Estas generaron un contexto social –hoy hablaríamos de «ecosistema»– capaz de premiar a los innovadores otorgándoles un cierto papel y un cierto reconocimiento social y político, verdadera condición previa para la extraordinaria transformación estructural que calificamos de revolución industrial.

La revolución política

En la base de los drásticos cambios de la revolución industrial está, ante todo, la Revolución Gloriosa de 1688-89. En aquellos años, el Parlamento de los Comunes –las comunidades locales, la gente común– expulsó al «rey por la gracia de Dios» y llamó al trono de Inglaterra a un «rey por voluntad de la nación». Así se asentó la relevancia social de los individuos y de las clases que debían su posición política a su propia capacidad de innovar, de producir, de afirmarse con sus competencias, en contraposición con la Cámara de los Lores, que desde la Carta Magna se definían «pares de Inglaterra» y consideraban su poder, derivado de la fuerza de sus ancestros, como una renta no negociable.

Cuarenta años antes, una sanguinaria guerra civil que enfrentó al rey con el Parlamento sacudió Inglaterra y concluyó con la condena a muerte de Carlos I Estuardo y con la dictadura de Cromwell. En aquella época, Thomas Hobbes, frente a una masacre en la que todos eran enemigos de todos, teorizó la necesidad de un Estado absoluto que pudiese poner fin a las incertidumbres en las que, como escribió en su *Leviatán* (I, 13), «no puede haber actividad industrial de carácter alguno, pues sus frutos serían inciertos».

Tras esta primera revolución, la restauración de la casa Estuardo llevó a una aparente calma que, sin embargo, se derrumbó frente al intento de la

Corona de volver atrás en el tiempo. Este nuevo enfrentamiento produjo que el Parlamento expulsara al rey –sin necesidad de cortarle la cabeza–, llamara a un nuevo monarca y proclamase que el gobierno ya no estaba en las reverenciadas manos de las antiguas dinastías, sino en las manos callosas de los burgueses que, al enriquecerse, ocupaban las bancadas del poder.

Sin embargo, no se podría entender todo esto sin comprender el papel que desempeñaron las revoluciones científicas y culturales que sostuvieron la revolución política.

La revolución científica

Al principio, el término «revolución» era usado esencialmente por los astrónomos para indicar el movimiento de un cuerpo alrededor de otro. El movimiento de revolución se concebía como el movimiento de un cuerpo celeste en torno a su centro de gravitación y el tiempo de revolución se definía como el tiempo que el astro tardaba en volver al punto de partida tras completar el giro alrededor de su centro. *Revolutio* deriva, por lo tanto, de *revolgere,* es decir, «alteración», pero también «regreso».

Nicolás Copérnico, que llegó desde Polonia a Italia para estudiar en la universidad de Ferrara, en 1543 tituló su obra *De revolutionibus orbium coelestium,* y el primer libro de esta, en el que se describen los movimientos celestes y su regularidad, lleva por título «Nicolai Copernici Revolutionum». Copérnico describió los movimientos celestes situando al Sol en el centro gravitacional y a la Tierra como astro en revolución, de acuerdo con un esquema regular y, por ende, matemáticamente predecible.

Sin embargo, la publicación de este volumen supuso el comienzo de aquello a lo que Thomas Kuhn llama «revolución copernicana» –un derrocamiento radical de los conceptos de referencia sobre los que se construía la visión del mundo–, retomando un concepto que ya avanzó Kant al hablar de una «revolución copernicana del conocimiento» y refiriéndose a un profundo cambio de las visiones que él mismo había analizado con sus teorías sobre el conocimiento humano.

La revolución copernicana, que colocaba al Sol (y no a la Tierra) en el centro del universo, indica una fractura en la historia del conocimiento. Copérnico se disponía a investigar los principios y las leyes necesarias para explicar los movimientos celestes y, con ello, subvertía el orden constituido

por una metafísica que daba por sentado que la Tierra era el centro de un universo limitado, en el que, en círculos regulares, giraban un número determinado de astros que, a su vez, estaban contenidos en un cielo finito, en el que se encontraban las estrellas fijas e inmóviles. No solo los escritos de Aristóteles y de Ptolomeo, sino incluso las Sagradas Escrituras probaban que este orden era el establecido y que no era discutible, puesto que la misma palabra de Dios lo apoyaba. Asimismo, este orden celeste se asumió como base para la legitimación de una organización política que concebía el poder como algo otorgado por un mundo inmóvil, en cuyo centro se hallaba el emperador, que poseía y gobernaba un universo unitario y finito, y en torno al cual orbitaban los distintos círculos de sus vasallos hasta llegar a las clases inmóviles y desprovistas de cualquier poder, que constituían el fondo de toda la sociedad medieval.

El libro de Copérnico, publicado en el año de su muerte, dio comienzo a aquella revolución científica que tuvo su momento más dramático en la renuncia de Galileo Galilei (el 22 de enero de 1633) y que se materializó con la publicación de los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de sir Isaac Newton, en 1687. Esta revolución científica fue devastadora para los saberes medievales, pues introdujo, gracias a los estudios de algunos de sus exponentes (desde Tycho Brahe a Kepler y a Galileo), un método científico que abría la búsqueda de los principios últimos y de sus aplicaciones más inmediatas a hombres que podían afirmarse basándose en sus propias capacidades, en sus propios estudios, en sus propios saberes y sin necesidad de hacer alusión a una determinada posición de poder heredada y consolidada en los límites cerrados de los universos político y eclesiástico.

No obstante, mientras se agravaba este choque entre la nueva ciencia y la vieja política, la nueva ciencia desarrollaba aplicaciones que, en el terreno práctico, abrían el horizonte a nuevos mundos. Con el descubrimiento de América comenzaron los viajes transoceánicos, que exigían notables mejoras en las tecnologías de orientación y de fijación de las rutas en mar abierto. Estas investigaciones, aparentemente abstractas, en realidad favorecieron la incubación de técnicas de análisis que, al querer identificar los principios y las normas para la observación de los movimientos de las estrellas, permitían utilizar instrumentos de observación y cálculo capaces de ubicar con precisión cada navío, cada lugar en el seno de un mundo que aún estaba por descubrir.

Y es aquí, en la encrucijada entre los orígenes de lo que me gustaría llamar el nacimiento de la tecnociencia y en los prolegómenos de la sociedad capitalista, donde la revolución científica y la revolución industrial combinan sus destinos, es aquí donde nace lo que podríamos llamar la «revolución 1.0».

Hypotheses non fingo es la afirmación revolucionaria de Newton: no tengo necesidad de inventar hipótesis sobre las causas del movimiento, como desde hacía siglos imponía la filosofía escolástica al buscar por todos los medios la descendencia de una divinidad externa, legitimando la metáfora de la inmovilidad del mundo político. Newton estudia la mecánica de los astros, las fuerzas internas del universo, las relaciones entre las estrellas. El movimiento de los astros es el resultado de la interacción de las fuerzas, de la relación entre sus masas y su distancia en una continua tensión entre atracción y repulsión, que Newton define con el término de *competition (cum-peto,* es decir, la tensión común que determina una fuerza totalmente endógena al movimiento de las estrellas).

La revolución cultural introducida por John Locke

En los años de la Revolución Gloriosa, Locke estaba aplicando la nueva visión newtoniana de las mecánicas celestes a la descripción de las dinámicas sociales, para las que ya no es necesario un centro gravitacional cuya fuerza se determine y legitime externamente. El de Somerset describe la sociedad como un sistema de fuerzas que interactúan y son capaces, en su acción común, de determinar el movimiento y la transformación sociales. En 1689, Locke escribe *A Letter Concerning Toleration* y al año siguiente, en 1690, *Two Treatises of Government* y *Essay Concerning Human Understanding* . En una sociedad liberada de los vínculos feudales, en la que el gobierno garantiza el desarrollo de una correcta competencia económica –sostiene Locke– los individuos pueden afirmarse a sí mismos en la sociedad utilizando su propio intelecto, aprendiendo de la experiencia y experimentando nuevas soluciones.

Aquello a lo que Locke llama *human understanding* no se refiere a la distribución desigual de un ingenio innato, sino a la capacidad de aprender de la experiencia, de experimentar, de elaborar nuevas ideas partiendo de las propias acciones. Basta reflexionar sobre el valor de estas nociones en la

actualidad, cuando tratamos de determinar qué es la inteligencia artificial y para qué sirve.

Locke se apropia del esquema newtoniano de un mundo que se mueve gracias a su fuerza interna, sin necesidad de motores externos. Teoriza una sociedad cuyas dinámicas se manifiestan gracias a las fuerzas libres de los individuos, sin necesidad de reyes o de emperadores que legitimen sus acciones. Con ello, brinda una cobertura ideológica a la Revolución Gloriosa y abre el filón de estudios que conducirá hasta Smith y sus investigaciones sobre un sistema social que, basándose en una libre organización de las fuerzas del mercado, pueda explicar las dinámicas de toda la sociedad. Las tres revoluciones, ideadas durante largo tiempo y maduradas a finales del siglo XVII , constituyen la base de la legitimación y del estímulo para innovar, experimentar y adoptar nuevas tecnologías que ya no se aplicarán al entretenimiento de los nobles, sino que apoyarán la afirmación social de los *commons,* de los hombres nuevos.

Utilizar e innovar

Las tecnologías conocidas desde hace tiempo se convierten, en el nuevo contexto social y político, en instrumentos que se pueden utilizar para la producción y, por ende, en medios para incrementar el poder en un sistema de relaciones en el que las capacidades y competencias individuales devienen las herramientas para reubicarse en la sociedad. ¿Cuántos autómatas se presentaron en las cortes dieciochescas, cuántos «hombres mecánicos» se emplearon para construir relojes en las ciudades nobles del norte de Europa? Todos esos mecanismos se podían empezar a usar ahora para producir bienes que se venderían en mercados cada vez más lejanos por parte de hombres a los que la reforma protestante –en sus distintas vertientes– había legitimado y animado a afirmarse como individuos de una nueva sociedad en la que se estaba delineando, como escribió Max Weber en 1905, el espíritu del capitalismo.

Si la máquina de vapor fue el símbolo de esta revolución porque permitió dar fuerza motriz a fábricas cada vez más grandes, los desarrollos industriales de esta misma invención deben adscribirse a la convergencia de distintas tecnologías relacionadas entre sí. La posibilidad misma de usar estas máquinas de vapor deriva de las mejoras en las técnicas de extracción

del carbón fósil y, en concreto, del descubrimiento de Darby, que, en 1709, inventó las técnicas de destilación del carbón de coque, convirtiéndolo en un producto más duro y resistente y, por ende, apto para su utilización industrial.

Así, tuvo lugar una auténtica revolución en lo que concierne al procesamiento de los metales, que permitió la construcción de máquinas cada vez más sofisticadas: desde la máquina de vapor utilizada para las locomotoras a la construcción de máquinas textiles semiautomáticas. John Kay inventó la lanzadera volante en 1773 y la *Spinning Jenny* para máquinas de hilado se introdujo en 1765; ambas supusieron el núcleo mismo de la nueva industria inglesa.

Del mismo modo, los avances de la química como ciencia experimental fueron cruciales para el desarrollo de la industria textil. Por ejemplo, la investigación en la materia y en sus transformaciones llevó, a finales del siglo XVIII , a la definición del proceso Leblanc para la producción industrial de sosa, que permitió blanquear tejidos de algodón y abrió el camino de la producción a gran escala de productos homogéneos. Estos cambios en el sector de la transformación de productos agrícolas se llevaron a cabo gracias a que este ámbito estaba experimentando una profunda reorganización que permitió un extraordinario aumento de la productividad.

También, por consiguiente, en la primera revolución industrial la verdadera ruptura se debió a la convergencia de distintas tecnologías que, al combinarse entre sí, generaron una aceleración exponencial del crecimiento de la productividad. Aceleración que surgió y se hizo posible gracias a las transformaciones políticas e institucionales que tuvieron lugar en la Inglaterra que, un siglo antes, había salido de una lucha política en la que se afirmó el derecho de los individuos a competir sin los vínculos feudales que aún constreñían al resto de Europa.

Una lectura compleja de la revolución industrial

La revolución industrial no es solo un cambio en las técnicas, sino también una transformación de las estructuras mismas de una determinada economía y, en especial, de las formas y de las perspectivas de la producción; es decir, de las modalidades a través de las cuales una sociedad se reproduce y crece. Por ello, representa una transformación sustancial de las relaciones entre

individuos, entre grupos sociales; se trata de la activación de procesos sociales en los que se modifican los modos de organización de las sociedades humanas. Y esto no se debe exclusivamente al surgimiento de nuevas tecnologías, sino que es un proceso en el que el distinto uso de las tecnologías permite que algunas personas destaquen, al cambiar las relaciones de fuerza en el seno de la sociedad y al transformarse, como consecuencia, también las relaciones de poder inherentes a una sociedad.

Por otra parte, la tecnología puede emplearse con distintos fines en distintos contextos sociales. Piénsese en el emblema de la primera revolución industrial: la locomotora de vapor. Esta, por ejemplo, se implantó en el Reino de Nápoles gracias al rey, que compró las primeras locomotoras en Inglaterra y mandó construir la línea ferroviaria de Nápoles a Portici (como parte de una red que se planeó, aunque no llegó nunca a concluirse), inaugurada con toda la corte el 3 de octubre de 1839. Tres años después de aquel primer viaje, el monarca inauguró la Real Fábrica Borbónica de Pietrarsa para el mantenimiento y la construcción de material ferroviario. A pesar de ello, los Borbones no fueron capaces de explotar las posibilidades de aquel nuevo invento en lo referido al desarrollo y a la modernización.

Muy distinta es la historia inglesa, donde las locomotoras comenzaron a utilizarse para sustituir a los caballos en la tracción de los carros que transportaban el carbón desde las minas hasta las fábricas y las telas desde las fábricas a los puertos y a los mercados, con lo que se activó un transporte público. En 1825, se creó la Stockton & Darlington Railway, si bien solo cuatro años después dio comienzo una competición para idear la locomotora más adecuada para cubrir la línea entre Liverpool y Mánchester, con lo que se inició una pugna entre ingenieros y empresas que multiplicó los conocimientos y los experimentos e hizo surgir una nueva generación de empresarios industriales que protagonizaron el cambio.

En el primer caso, la creación de una línea ferroviaria confirma el orden social existente y, además, busca reforzar la estructura de los poderes consolidados; en el segundo caso, la utilización de la nueva tecnología genera un nuevo orden social, con efectos transformativos y penetrantes en la sociedad misma. Por ende, debemos ampliar nuestra visión, tanto por lo que se refiere al tiempo como al espacio, y analizar la revolución industrial y las tecnologías que la caracterizan en el marco de las grandes dinámicas

sociales en las que estas se encajan, hasta el extremo de provocar efectos «disruptivos» en la vida colectiva.

En nuestra lectura de las grandes transformaciones que llegamos a denominar con el término drástico de «revolución» –al que se añade la etiqueta «industrial» para subrayar el carácter central de la producción como lugar esencial del cambio social– debemos hacer hincapié en los términos empleados, partiendo del concepto mismo de «revolución».

---

1 Para las citas en español de *La riqueza de las naciones* se ha utilizado la versión de Carlos Rodríguez Braun (Madrid, Alianza, 1994). *(N. del T.)*

2. Las revoluciones posteriores

La segunda revolución industrial y la producción en masa

La revolución 1.0 conllevó extraordinarias transformaciones, con efectos destructivos en las estructuras sociales y productivas previas, como la desaparición de antiguas profesiones, pero también implicó la creación de nuevos trabajos, una nueva planificación en las ciudades, el surgimiento de nuevas clases sociales y, con ello, de nuevos conflictos políticos.

La extraordinaria aceleración industrial de Gran Bretaña llevó a una expansión de los intereses comerciales ingleses mucho más allá de sus fronteras nacionales. Ya no se trataba de que los navíos británicos llegasen a tierras lejanas para comprar mercancías exóticas, como las especias, que no se producían dentro de los confines de la nación. El comercio con estas tierras lejanas fue durante siglos el principal estímulo que condujo a la búsqueda de nuevas vías y despertó el interés por horizontes lejanos.

El nuevo imperialismo de la Inglaterra industrial se basaba, por supuesto, en la adquisición de materias primas (como el algodón de la India, de Egipto o de Norteamérica), pero estas materias primas eran «transformadas» en las fábricas de Mánchester para su posterior venta en todos los mercados del mundo gracias a una superioridad organizativa y técnica que, en la época, minó las economías internas del resto de países al desplazar los productos de manufactura local. ««La riqueza de las naciones» se convertía, así, en «el poder de las naciones» y, por ende, la superioridad económica inglesa devenía igualmente dominio político; era inevitable que nuevos conflictos se vislumbrasen en el horizonte.

David Landes en su *The Unbound Prometheus* (1969) nos recuerda en este sentido cómo, tras las guerras napoleónicas, la emergente Prusia emprendió un intenso proceso de emulación de Gran Bretaña, pues el rey de Prusia vio con claridad que los nuevos conflictos entre naciones se jugarían en el tablero de la confrontación de potencias basada en la fuerza de la economía, que orbitaba en torno al peso de las manufacturas. Esto llevó al

monarca a adoptar acciones para acelerar el crecimiento del tejido industrial, de modo que el proceso que en Inglaterra se pudo desarrollar a lo largo de dos siglos, en Prusia, pero también en Francia, tuvo que llevarse a cabo mediante decisiones planificadas por el Estado, en el seno de una competición económica que estaba empezando a transformarse en una lucha entre Estados. Entre estas medidas, tuvieron especial relevancia las intervenciones que perseguían dotar a ambos países continentales de escuelas técnicas. Las Écoles des Arts et Métieres en Francia, las Gewerbeschulen en Prusia, la École Polytechnique en Francia y el Gewerbeinstitut de Berlín (1821) constituyeron los ejes de una difusión de conocimientos técnicos que se situaron en la base de procesos acelerados de industrialización, necesarios para competir con la industria inglesa más avanzada.

El ecuador del siglo XIX coincidió con una fase de escaso crecimiento y fue el escenario de acontecimientos políticos de gran alcance, como la unificación italiana, la fundación del Reich alemán, la guerra civil en Estados Unidos, la revolución Meiji en Japón, las guerras de independencia en Latinoamérica o las del opio en China. Estos sucesos cambiaron el contexto político a escala global y animaron rápidamente a las naciones europeas a extender su soberanía más allá de sus propias fronteras para garantizarse el control directo de los mercados internacionales, suficientemente amplios como para sostener el crecimiento acelerado de la industria nacional.

La época del imperialismo se convierte en la época de la industrialización forzada: para reafirmar el poder político en la escena internacional era necesario disponer de una gran industria nacional, indispensable para desarrollar aquellos sectores modernizados de la sociedad (ferrocarriles, grandes navíos, producciones militares) que inmediatamente se convirtieron en los símbolos de un progreso que parecía imparable.

Esta aceleración llevó al incremento del comercio internacional que marcó el comienzo del siglo XX y, al mismo tiempo, del expansionismo político y militar de las grandes potencias, que tuvo como trágicas consecuencias la Gran Guerra, el dramático intermedio de la crisis económica de los años veinte y treinta y, por último, el surgimiento de los Estados totalitarios y del conflicto que desembocó en la Segunda Guerra Mundial.

Desde el punto de vista de la organización de la producción –es decir, de la *division of labour–,* la principal innovación fue la introducción de la denominada «gestión científica del trabajo», que se tradujo en las cadenas de montaje de Ford. Varios autores se han concentrado en la división del trabajo como base de la eficiencia de la producción. Marx en *El capital* (I, XII, 5) señaló que la diferencia entre el reparto de tareas por parte de los artesanos y la división del trabajo propia de la manufactura capitalista se basaba en la disciplina del trabajo, consecuencia de los tiempos de la producción.

Charles Babbage en su *On the Economy of Machinery and Manufactures* (1832) y Andrew Ure en *The Philosophy of Manufactures* (1835) se centraron en el análisis de la optimización de un ciclo de producción, tomando como referencia el tiempo de realización de volúmenes de producciones homogéneas.

La segunda revolución industrial se esbozó, por tanto, en la época del Estado-nación, con la consolidación de una demanda pública de infraestructuras y armamento, y con el surgimiento de una demanda privada de bienes homogéneos a precios reducidos que tenía que satisfacerse mediante grandes instalaciones basadas en la división del trabajo, de modo que las economías de escala estáticas aumentasen. Esta nueva revolución industrial, como la anterior, se materializó en la convergencia de distintas tecnologías que permitieron la organización a gran escala de producciones industriales.

La cuestión comenzó a tomar forma tras 1870, cuando el fin de Napoleón III despejó el camino para un nuevo conflicto entre el Imperio inglés y el reciente Imperio alemán.

En Gran Bretaña, retomando la vertiente ingeniera de los estudios de Babbage, se desarrolló un conjunto de literatura técnica con el objetivo de estandarizar las actividades productivas y de maximizar sus resultados: esta invadió todo el mundo anglófono y tuvo un especial éxito en Estados Unidos, donde –tras el fin de la guerra civil entre el sur agrícola y el norte industrializado– se produjo una aceleración de las actividades industriales.

Esto conllevó un rápido florecimiento de estudios y de aplicaciones a la producción desde nuevas perspectivas que Frederick Taylor compendió. En su *Informe a la sociedad americana de ingenieros mecánicos* de 1895, Taylor dio forma a aquella «organización científica del trabajo» que –desarrollando hasta el extremo los principios esbozados por Babbage,

aunque eliminando por completo el contenido de economía política– se convirtió en la base teórica de la nueva revolución industrial. Los principios de esta organización científica del trabajo, que Taylor volverá a recoger en su famosa obra de 1911, son: a) separación entre los contenidos ejecutores e intelectuales, subdivididos entre las funciones ejecutoras y las funciones directivas; b) estandarización de las herramientas, de las operaciones y de los movimientos de cada una de las tareas; c) reordenación de cada una de las tareas en secuencias preestablecidas; d) introducción de sistemas de control de los tiempos y métodos empleados.

En otras palabras, cada una de las fases productivas complejas se descomponía en tareas individuales y estas se simplificaban y distribuían hasta formar una línea continua a lo largo de la cual se realizaban todas las tareas sin interrupciones. De este modo, una cadena de montaje que recorría el interior de la fábrica permitía ensamblar pieza tras pieza un producto homogéneo en grandes volúmenes de acuerdo con el principio de Taylor según el cual «cualquier actividad intelectual debía ser eliminada del taller y concentrada en las oficinas de planificación».

Volviendo a la distinción previa, aquí se maximizan las economías de escala estáticas, pero se pierden las economías de escala dinámicas, ligadas al aprendizaje y, por tanto, a la *skill,* la *dexterity* y el *judgement,* que constituían para Smith la base misma de la capacidad productiva del trabajo.

El fordismo fue la manifestación máxima de esta óptica: largas cadenas de montaje basadas en secuencias de tareas elementales para las que se asignaba un tiempo predeterminado de acuerdo con un principio de productividad que fijaba la calidad de los bienes en un producto homogéneo, cuya fuerza competitiva provenía de la reducción de los costes medios de producción en relación con los volúmenes producidos y, por tanto, aptos para una competición de precios.

El impacto social de esta innovación es evidente: hay una separación abismal entre las grandes masas obreras y los restringidos vértices técnicos y económicos que toman las decisiones en las empresas, lo que implica una distinción igualmente profunda en lo que concierne a los conocimientos, al saber y a las habilidades.

Por otra parte, en esta fase se pone en marcha un gran proceso de concentración, consecuencia de una oleada de fusiones y compras, a través del que emergen esos grandes conglomerados que, en distintos países,

afirman el poder de los monopolios. Marshall en *Industry and Trade* (1919) ilustró este proceso de transformación de los sistemas productivos en grandes monopolios que toman el nombre de *trust* en Estados Unidos y Gran Bretaña, de *konzern* en Alemania, de *zaibatsu* en Japón. Estos bloques de poder económico, capaces de hacer frente a los poderes del Estado, se convirtieron también en núcleos de conocimiento técnico y competencias productivas.

Esta es la época del desarrollo de la ciencia de los materiales, que permitió producir aceros que se convirtieron en el eje de la nueva industria. Lo mismo sucede con el desarrollo de los estudios acerca de la electricidad, que en pocos años consintieron disponer de enormes cantidades de energía. También las tecnologías de desarrollo de los motores de combustión interna y las técnicas de extracción y refinamiento del petróleo, que se hallan en la base de la puesta en marcha de la industria automovilística, avanzan rápidamente en este período.

La electricidad y el petróleo, el acero y el automóvil se convierten en las claves de esta dilatada fase, que atravesará los años del capitalismo de los monopolios y de la Gran Guerra, sobrevivirá a la crisis económica –a la que se darán respuestas autoritarias en Italia y en Alemania y democráticas en Gran Bretaña y Estados Unidos– y concluirá con la Segunda Guerra Mundial.

El nuevo mundo que surge de la catástrofe de esta última guerra se quedó rígidamente dividido en dos bloques incomunicados: el bloque occidental capitalista opuesto al oriental comunista, a los que se unía un Tercer Mundo marginal, periférico y residual. En ambos bloques, tanto en el este como en el oeste, el fordismo parecía ser la única forma moderna de organización de la producción.

Precisamente fue la fortuna de este modelo, unida a la reafirmación de una clase media de consumidores que podían adquirir bienes estándares y que contribuían, así, al desarrollo de las economías lo que provocó en los países occidentales el crecimiento de las tensiones competitivas y sociales. Estas desembocarían en una nueva redefinición de las organizaciones industriales que podemos identificar como una tercera revolución industrial.

La ciencia y la tecnología entre la segunda y la tercera revolución industrial

La relectura de las grandes transformaciones del mundo comporta retomar la reflexión anteriormente propuesta acerca de la relación entre el desarrollo de la ciencia y sus efectos tecnológicos y, por consiguiente, industriales.

Ya se ha visto que Newton, a mediados del siglo XVIII , sintetizó una extensa corriente de pensamiento teórico acerca de las dinámicas del universo al delinear un modelo gravitacional universal que, gracias a Locke, se aplicó a las dinámicas sociales.

En el ecuador del siglo XIX , mientras grandes acontecimientos políticos estaban teniendo lugar, se registró una auténtica efervescencia de la cultura científica. En 1865, James Clerk Maxwell formuló un sistema de ecuaciones diferenciales que, partiendo de amplios trabajos teóricos previos, definió las leyes fundamentales que rigen la interacción electromagnética. Las ecuaciones de Maxwell permitían identificar los vínculos entre el campo eléctrico y el campo magnético y condujeron al descubrimiento de las ondas electromagnéticas, que despejaron el camino a la investigación experimental de Heinrich Rudolf Hertz para la construcción de un aparato capaz de emitir ondas de radio. Desde estos trabajos se llegó a los estudios de Augusto Righi en la Universidad de Bolonia y a los experimentos de Marconi, que constituyeron la base industrial de todas las innovaciones posteriores de las telecomunicaciones, cada vez más importantes, hasta llegar a convertirse en la tecnología base de la denominada tercera revolución industrial.

De la formulación de las ecuaciones de Maxwell, esto es, de la definición de las leyes del electromagnetismo, derivan igualmente las investigaciones sobre la materia y la luz que sentaron las bases, a comienzos del nuevo siglo, para otros importantes descubrimientos. Entre estos destacan los trabajos de Albert Einstein, esbozados a partir de 1905, sobre el relativismo de los conceptos de tiempo y de espacio y sobre la relación entre la materia y la energía. Con ellos se descubría la inmensa fuerza que poseía la estructura atómica de la materia.

Asimismo, de este tronco principal también derivan los trabajos de Max Planck, que desde 1901 abrieron el camino a la física cuántica: los átomos emiten y absorben radiaciones de manera discontinua –los cuantos de energía, es decir, cantidades finitas y discretas de energía–, de modo que la materia puede representarse de manera granular y no continua.

De aquí parte una serie de estudios cada vez más aplicados que llevaron al desarrollo, mucho tiempo después, de los dos ejes fundamentales de la

nueva ciencia y de la nueva industria. Por una parte, hallamos las investigaciones centradas en el modo en que se desencadena y controla la enorme cantidad de energía que puede generar la fisión nuclear, con los aspectos devastadores que Hiroshima mostró al mundo. Por otra, los estudios sobre la discontinuidad energía/materia despejaron el camino a las aplicaciones de la digitalización, esto es, del proceso de conversión que, aplicado a la medida de un fenómeno físico, determina el modo en que pasa del campo de los valores continuos al de los valores discretos (en otras palabras, el paso de lo analógico a lo digital). Este fenómeno encarna la tecnología clave en lo que entendemos como cuarta revolución industrial.

Los estudios teóricos de Newton generaron nuevas tecnologías aptas para sustentar el desarrollo de una nueva industria, fundamentalmente porque unos hombres nuevos –los *commons* – utilizaron estas técnicas para reafirmarse social y políticamente. Del mismo modo, también tuvieron que pasar muchos años antes de que se crearan las condiciones políticas y sociales que permitieran que las teorías de Einstein y Planck sentasen las bases de una nueva industria.

En busca de nuevos modelos de producción

La tercera revolución industrial nace vinculada a las tecnologías de la información y la comunicación (en inglés, *Information and Communications Technology,* ICT). Surge en la era en la que el mundo que emerge de la Segunda Guerra Mundial se encuentra dividido entre una área de mercado, bajo la bandera de los Estados Unidos, y una área de economía socialista, liderada política y militarmente por la Unión Soviética. Al margen de estos dos bloques, se erige una enorme zona residual definida como Tercer Mundo e irrelevante en términos económicos y políticos.

El crecimiento posterior a la guerra se basaba en una serie de presupuestos que perdieron su validez a mediados de los años setenta: costes laborales constantes gracias a la continua llegada al sector de la industria de trabajadores provenientes del ámbito agrícola; costes estables de las materias primas gracias a la producción de petróleo por parte de países sujetos en buena medida al control de las grandes potencias; costes del dinero limitados por la ausencia de inflación y, para concluir, un régimen fijo del tipo de cambio, que reducía los riesgos derivados del

mismo. Sobre estas bases, ya a mediados de los años sesenta, todos los países industrializados alcanzaron el pleno empleo, dando lugar a una nueva fase política y social.

La declaración de no convertibilidad del dólar por parte de la administración Nixon, en mayo de 1971, seguida de una continua erosión de la competitividad americana cerró la era de los tipos fijos de cambio y, por ende, de la estabilidad monetaria, decretando el final de un sistema económico basado en la divisa estadounidense. En 1973, la primera crisis del petróleo puso fin al régimen de los precios estables –cuando no decrecientes– de las materias primas, con lo que se desencadenaron en todos los países occidentales procesos de inflación que solo parecían poder contenerse mediante una bajada de salarios que volvió a desencadenar tensiones obreras y estudiantiles como las que tuvieron lugar a finales de la década de los sesenta.

En este contexto de enorme inestabilidad monetaria y con niveles de inflación crecientes, con costes desorbitados de las materias primas y en una fase en la que todos los países registraron duros conflictos sociales internos que incluso desembocaron en episodios de terrorismo político, cambió también la naturaleza de los mercados, hasta entonces fundamentalmente oligopolios locales que crecían sobre la base de la demanda interna.

Surge así una nueva competitividad basada en la penetración en los mercados cercanos por parte de todos los productores, por lo que aumenta la necesidad de diferenciar los productos para competir en mercados infinitamente más complejos que los de antaño. El proceso radical de automatización de las líneas de producción se convirtió en la respuesta de los vértices de las grandes empresas para contener tanto los costes salariales como los conflictos sindicales. Asimismo, se ponen en marcha procesos de reorganización que buscan la diferenciación de los productos en un marco en el que la competitividad ya no se centraba exclusivamente en el precio, sino también en la calidad de los productos.

En Italia, la violenta lucha sindical del verano de 1980 llevó a la Fiat de Turín al despido de 14.000 empleados. Ello se produjo tras más de un mes de encierros en la fábrica y después de una marcha de los administrativos y de los ejecutivos en contra de los sindicatos. La reorganización de las instalaciones comportó un mayor grado de automatización interna, que se

tradujo en una reducción de los trabajadores, de 320.000 a 225.000 en seis años.

En aquellos mismos años empiezan a articularse distintos modelos de producción que ya no se basan en la modalidad fordista previa. Por una parte, se afirma la solución empleada por la Fiat al reemplazar la línea de montaje fordista –en la que una secuencia de trabajadores ensambla pieza a pieza el producto final– por una cadena en la que son los robots los que llevan a cabo las mismas operaciones, si bien cabe la posibilidad de ofrecer algunas variantes que inciden en la diferenciación del producto final.

Por otra parte, crece un modelo alternativo basado en el desarrollo de las redes de empresas que, en un determinado territorio, articulan distintas actividades específicas. Con ellas surge un nuevo tipo de empresario, que condensa las funciones de organizador del ciclo productivo en un contexto difuso. Los «distritos industriales» se convierten en una forma alternativa de organización productiva que, a su vez, aumentará haciendo surgir nuevos grupos industriales y modelos de producción en red, que cada vez asumirán mayor importancia en todo el mundo.

Así pues, en esta nueva fase encontramos, por una parte, la automatización de la cadena fordista que persigue la flexibilidad en la gestión robotizada de secuencias de productos diferenciados y, por otra, una serie de organizaciones en red que producen –de forma paralela o no– lotes de productos diferenciados. Ambas opciones organizativas buscan la producción de bienes parcialmente diversificados para un mercado más segmentado y más preocupado por la calidad.

Al mismo tiempo, la evolución de las tecnologías mecánicas se combina con las innovaciones en el sector de las telecomunicaciones y de la informática. Esta es la consecuencia del uso de ordenadores cada vez más potentes, tanto a la hora de gestionar flujos de producción interna en una fábrica cuya automatización crece, como en el momento de administrar los bienes provenientes de distintos proveedores que operan en el mismo distrito y que la empresa en contacto con el mercado final tendrá que terminar de ensamblar.

En los años siguientes, ambos modelos se desarrollarán notablemente y se combinarán entre sí en busca de modalidades de organización de la producción que puedan garantizar una cierta diferenciación del producto y, a la vez, unas economías de volumen preparadas para contener los costes unitarios de la producción.

En esta fase, en todo el mundo se experimentan nuevos modelos de producción y, con ello, se redescubren los valores sobre los que se erigía la eficiencia basada en la relación entre la especialización individual y la complementariedad colectiva, que ya Smith había identificado en su obra escrita en tiempos de la primera revolución industrial.

Se descubren los distritos industriales, los *milieux innovateurs,* los *networks,* los *clusters;* distintas formas para representar conglomerados productivos en los que el territorio asume la función agregativa que la fábrica había representado en la fase anterior. Todo lo que antes se internalizaba en una gran instalación (que no solo se convertía en el lugar de trabajo, sino en el centro de la vida colectiva) en este momento se distribuye en territorios que vuelven a adquirir el sentido de la unidad de base en el que la calidad de los productos finales, la calidad de las habilidades y la calidad de las instituciones locales son las que «marcan la diferencia».

En esta fase vuelven a emerger las pequeñas empresas, que devienen factores de promoción para un nuevo tejido fabril capaz de conjugar habilidades de producción y creatividad en los productos. El desarrollo de las tecnologías de la comunicación y de la información pone a disposición de estos empresarios instrumentos muy poderosos tanto porque buscan abaratar costes como porque pueden abrir nuevos mercados.

La transformación productiva provoca en Italia, como en todo el mundo occidental, una época de profunda transformación social. Los años del crecimiento posteriores a la segunda contienda mundial –como hemos dicho– cedieron su espacio a una fase de inestabilidad en la que los conflictos sociales y las preocupaciones individuales se entrecruzaban. Entre el final de los años sesenta y el comienzo de la década de los ochenta cambian radicalmente los modelos de la vida colectiva y la necesidad de «salir de los esquemas preconcebidos» abre nuevas perspectivas para la industria, que vislumbra el fin del extenso ciclo fordista. La necesidad, aparentemente contradictoria, de una mayor expresión individual y, a la vez, de una nueva vida comunitaria comporta la llegada de modelos distintos o alternativos de concebir la función social del trabajo.

Por otra parte, el desarrollo del pensamiento científico del siglo XX esbozó nuevos escenarios. Los dos pilares de la revolución en la física de principios de siglo combinaban las investigaciones acerca de lo infinitamente grande (las dinámicas del universo) y lo infinitamente

pequeño (el átomo y los componentes últimos de la materia) e introdujeron los términos de «relativismo» e «indeterminación» en el pensamiento contemporáneo.

El panorama que Newton describió era totalmente determinista y la sociedad se erigía como un mundo en permanente gravitación en el que los cuerpos sociales se oponían entre sí y determinaban la dinámica de todo el sistema. Por su parte, el mundo fordista, hijo del positivismo de finales del siglo XIX , presentaba estrictas soluciones técnicas en las que la producción en masa se entendía como la expresión de un mundo rígida y unívocamente dirigido hacia el progreso.

La nueva fase incorporaba aquellos elementos de incertidumbre que implicaba la combinación de las crisis petrolíferas, monetarias y sociales de los años setenta con la caída de la Unión Soviética y el fin de la división del mundo en bloques. Para interpretar estas transformaciones se habla de «sociedad líquida»: el individuo ya no se identifica como productor (el obrero, el agricultor, el empresario), sino como consumidor, un consumidor compulsivo que siente formar parte de un grupo social basado en el propio consumo y no en una determinada ideología o en un sistema de valores. Con ello, se camina hacia una globalización que unifica a todos los individuos sobre la base de sus parámetros de consumo.

La caída del Muro de Berlín, icono del final del mundo que surgió de la Segunda Guerra Mundial, implicaba una apertura progresiva de los intercambios internacionales que se aceleró en 2001, cuando, con los acuerdos de Doha, China y el resto de países en vías de desarrollo se insertaron definitivamente en la escena mundial. Esta apertura va acompañada –según los dictámenes del llamado Consenso de Washington– de una política de reducción del papel del Estado en la economía y, por tanto, de un convencimiento general según el cual el mercado, libre de cualquier control, comporta inevitablemente un progreso generalizado. También en este contexto surge un nuevo panorama financiero, cada vez menos ligado a la producción real, y una nueva economía que teoriza la necesidad del ocaso de la producción manufacturera como base del crecimiento económico o, como podríamos decir, de la riqueza de las naciones.

Las mismas modalidades de organización de los ciclos productivos conllevan una fragmentación de la cadena de valor, al trasladar las fases de

distinto valor añadido a otros países en función de los costes del trabajo ofrecidos por las distintas situaciones locales.

El crecimiento de los países en vías de industrialización y, sobre todo, de China impulsa los intercambios internacionales al requerir tecnologías occidentales para vender en los países industrializados bienes que antes producían aquellas mismas empresas occidentales que trasladaron su producción a países en vías de desarrollo. Al mismo tiempo, en el mundo desarrollado aumenta la importancia de los intermediarios financieros, cada vez con menos escrúpulos.

Esta fase, que comienza a principios de los años noventa, llegó a la primera década del siglo XXI con una aceleración de los intercambios y del crecimiento que hacía entrever que la liberalización de los mercados alejaría cualquier tipo de crisis, pero en 2007 todas estas previsiones se hacen añicos.

La crisis inaugurada con el impago de Lehman Brothers, que arrastró a las economías de todo el mundo, da comienzo a una profunda transformación de los sistemas productivos en todo el planeta. Se trata de sistemas dinámicos en los que las modalidades internas de reorganización cambian la configuración final del sistema.

La extensa crisis entre la primera y la segunda década del nuevo milenio constituye, ante todo, la implosión de una economía que creía que podía crecer sin producción, hasta el punto de que llegó a considerar que la manufactura era una forma social obsoleta frente a lo moderno de las finanzas. De esta manera, se llegó a considerar que una desindustrialización no solo era algo inevitable, sino que era un objetivo que se debía alcanzar en aras de facilitar el traslado de la vieja industria a los países emergentes.

En realidad, la crisis se ha materializado como el momento de incubación de una nueva revolución industrial.

Economía estructural y transformaciones de los sistemas productivos

En los últimos años ha vuelto a surgir la necesidad de analizar los cambios de la economía mundial teniendo en cuenta un período de tiempo amplio. Para ello, se hace necesaria una perspectiva desde la cual –más allá de los cambios macroeconómicos o del esbozo de los comportamientos

individuales– se puedan explorar a fondo las transformaciones de las estructuras que determinan una sociedad concebida a través de los elementos que pueden garantizar su pervivencia y desarrollo en el tiempo.

Ha cobrado fuerza, por lo tanto, la nueva lectura de una economía política que retoma las antiguas raíces clásicas fundadas en los lejanos años del origen de la primera revolución industrial y, con ello, ofrece unos instrumentos analíticos capaces de responder de manera sistemática a un análisis de las transformaciones tecnológicas y sociales que hoy identificamos como cuarta revolución industrial. A este filón de estudios ha contribuido de forma notable la Escuela Italiana de Cambridge, que ha propuesto una lectura de las dinámicas económicas centrada en el análisis de la producción como momento central de la dinámica estructural y analizando desde esta óptica la obra de autores como Hicks.

El papel central de la producción y de su organización se basa en el concepto mismo de manufactura y, por ende, en la capacidad de crear valor mediante una organización que usa recursos humanos, aplica sus mejores habilidades y adquiere e integra tecnologías que derivan en parte de la experiencia interna y en parte de una interacción con aquellas estructuras científicas que generan nuevos conocimientos y los transforman en herramientas de producción. La relación entre el desarrollo de la producción y la red de estructuras científicas que buscan generar resultados en la investigación y transformarlos en nuevas capacidades productivas es un elemento crucial para entender la continuidad y la discontinuidad en las organizaciones productivas.

Por otra parte, la «industria» es en sí misma el conjunto de condiciones materiales e inmateriales que permiten activar el proceso productivo. Por consiguiente, si volvemos a situar a la «producción» en el centro de nuestro análisis, es necesario entender cómo estas condiciones deben esbozarse en un contexto dinámico y susceptible de transformaciones en el conjunto de relaciones (mercado) que estructuran y organizan la sociedad. En este sentido, leemos una vez más la antigua indicación que se encuentra en la base misma de la economía política clásica, que citamos en el capítulo precedente y que consideramos crucial en nuestra reflexión, esto es, la íntima relación que debe existir entre las modalidades de organización de la producción y la extensión del mercado en el que esa misma producción debe insertarse.

Podemos considerar la globalización –es decir, la integración de los sistemas productivos y de los intercambios comerciales a nivel mundial– como la forma actual del mercado. Por ello, el modelo organizativo de la producción que se denomina industria 4.0 y que consiste en una completa digitalización e integración del proceso debe materializarse como la coherente *division of labour* de la globalización y debe hacer hincapié en el modo en que en esta transformación se verifican cambios, también en lo que concierne al equilibrio de fuerzas entre los distintos sujetos que conviven hoy en día en el mercado.

En otras palabras, no podemos considerar la industria 4.0 como una forma predeterminada y definida en términos abstractos. Se trata, una vez más, de una modalidad de organización productiva que es útil y eficiente en relación con el mercado al que se refiere o, mejor dicho, con la estrategia de mercado que cada una de las empresas pretende perseguir. No hemos de olvidar que pueden presentarse en una misma realidad territorial distintas modalidades de organización productiva que se correspondan con las distintas estrategias emergentes. En un sentido más amplio, podemos llamar industria 4.0 a una «estrategia país», a un diseño de política industrial que, sin embargo, no puede limitarse a la financiación de la adquisición de máquinas más sofisticadas, sino que debe definir con nitidez los objetivos deseables y alcanzables con los que un país pretende posicionarse en el mercado mundial.

3. Globalización y cuarta revolución industrial

Cómo ha cambiado la extensión del mercado

Si la organización de la producción se debe medir en relación con la extensión del mercado, veamos cómo ha cambiado el mercado en los últimos treinta años.

Al analizar las variaciones anuales del producto interno bruto (PIB, en inglés *Gross Domestic Product,* GDP) en términos reales desde 1980, se puede observar la discontinuidad que tiene lugar en torno a los últimos años del siglo pasado. Con los acuerdos de Doha se materializaba un largo camino de apertura de los mercados que había comenzado tras la Segunda Guerra Mundial con la firma del *General Agreement on Tariffs and Trade* (Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio, conocido generalmente como GATT). Tras varias rondas de negociación, el GATT dio lugar, en 1995, a la Organización Mundial del Comercio (OMC, en inglés *World Trade Organization,* WTO), que incluía como miembros de pleno derecho a terceros países, muy activos en los intercambios globales y que hasta entonces habían estado al margen del comercio mundial (fig. 1).

Si hasta finales del siglo XX el ritmo de la economía mundial dependía de la dinámica de los países desarrollados, en los años sucesivos el índice de crecimiento de los países emergentes ha aumentado exponencialmente, arrastrando a toda la economía mundial hasta el punto de inflexión de 2007. En esta fecha, la explosión de la burbuja especulativa que había inflado desmesuradamente los derivados financieros causó la crisis económica más profunda desde que terminara la última contienda mundial.

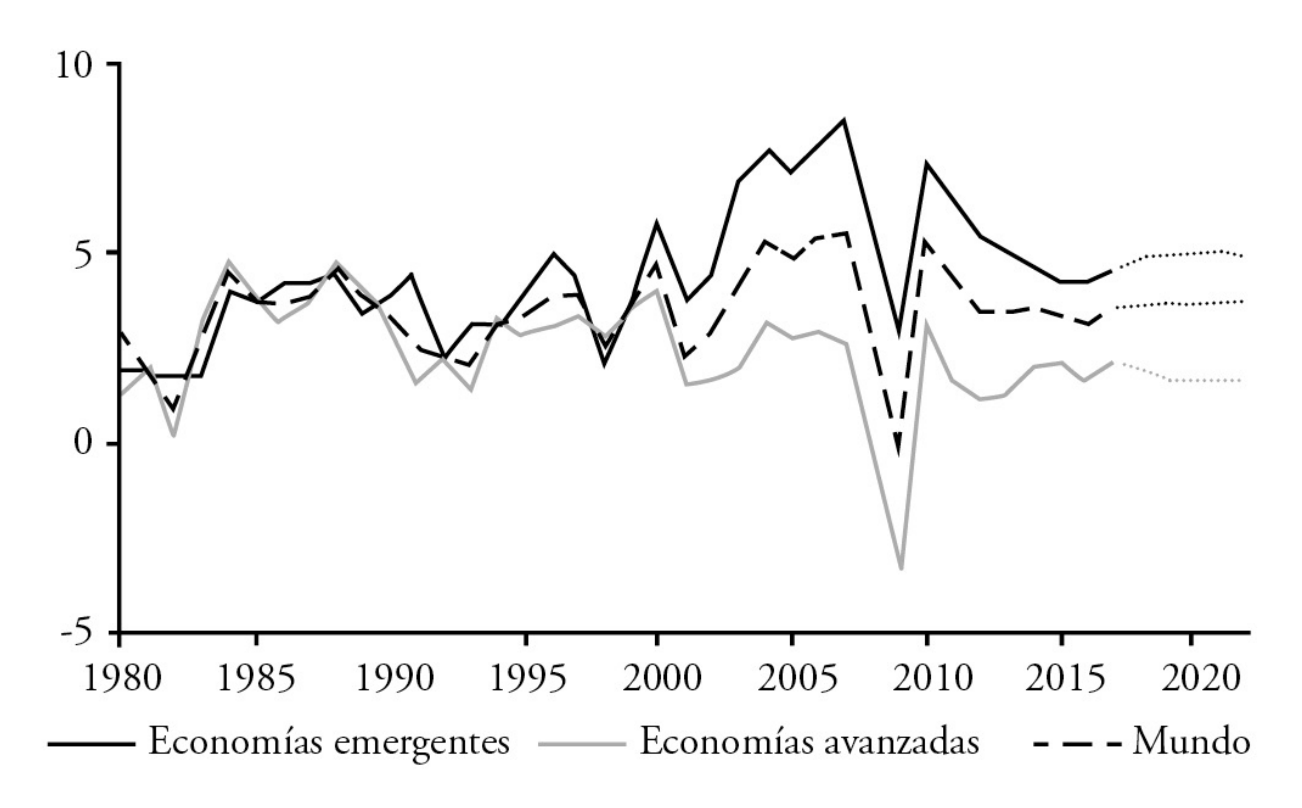


Figura 1 . Crecimiento anual del PIB real entre 1980 y 2017.
Fuente: Fondo Monetario Internacional.

El crecimiento del comercio global, que, paradójicamente, se mantuvo estable durante los años de los tipos de cambio fijos, vio una primera aceleración tras la declaración de inconvertibilidad del dólar (que en 1971 puso fin a la estabilidad monetaria). Asimismo, conoció un fuerte incremento a partir de 2001 cuando, al liberalizarse el comercio, el papel que desempeñaban terceros países y, sobre todo, China se convirtió en crucial para el desarrollo global, pues sus índices de crecimiento duplicaban con creces a los de los países ya desarrollados. Tras la caída dramática del PIB mundial en 2009, la recuperación y una segunda caída, parece observarse una mejora en el volumen de los intercambios a partir de 2014. No obstante, el comercio internacional de bienes no ha retomado la senda anterior, sino que parece haberse estancado. Asimismo, se observa una separación entre la tendencia previa y los intercambios realmente efectuados, que muy probablemente se proyectará hacia el futuro (tabla 1).

Tabla 1. Comercio internacional de bienes

Año	*Billones de dólares*

1960	0,124
1970	0,305
1980	1,986
1990	3,496
2000	6,502
2008	16,267
2009	12,638
2014	19,119
2016	16,072

Fuente: Datos del Banco Mundial (https://data.worldbank.org).

Esta desaceleración no debe interpretarse simplemente como una alteración coyuntural: es la prueba de una profunda transformación estructural que se maduró durante los largos años de la crisis. El crecimiento posterior a los acuerdos de Doha podía producirse con la misma organización de la producción que en las fases previas. Sin embargo, la crisis ha impuesto transformaciones profundas en la organización productiva y los distintos ritmos y las diferentes capacidades de adecuar las organizaciones productivas y sociales al nuevo contexto mundial han determinado los nuevos equilibrios de fuerza, no solo entre empresas, sino también entre sistemas económicos y, por ende, entre países.

Tras el crecimiento exponencial que tuvo lugar entre 2000 y 2008, los mercados internacionales sufren una caída en 2009. Tras ella, parecían recuperarse y volver a la tendencia previa, si bien retrocedieron de nuevo a niveles de 2008, con lo que hicieron creer a muchos expertos que la fase de la globalización de los mercados había tocado techo. En realidad, los años de la crisis incubaron una nueva economía en la que la reducción de los intercambios materiales se contrapuso a un intercambio creciente de datos y, por tanto, de bienes inmateriales en forma de archivos, de vídeos, de *software* y otras modalidades de comunicación interactivas. Así pues, podríamos definir esta nueva fase del desarrollo mundial como «globalización digital» para hacer hincapié en la enorme relevancia de este nuevo modelo de interacción social dentro de la nueva configuración de la economía.

Retomando los estudios de Scazzieri que, a su vez, desarrolló el enfoque propuesto por Hicks, podemos decir que estos años han constituido una «travesía» en la que se ha materializado un cambio de régimen tecnológico al que los operadores se han adaptado con distintas velocidades. Por ello, se

ha visto el ocaso de empresas consolidadas y el surgimiento de otras nuevas que han sabido aprovechar las tecnologías disponibles para afirmar su propio poder en el mercado y, con ello, su propio peso en la nueva sociedad.

Durante los años de la crisis emergió una nueva economía que inmediatamente se convirtió en global y se basaba en la conexión continua –que hemos denominado «hiperconexión»– entre personas, empresas e instituciones. Este modelo va mucho más allá del sistema, ya de por sí amplio, de las telecomunicaciones, pues estas quedan circunscritas al ámbito nacional y no siempre logran librarse de las constricciones administrativas que hasta entonces les habían asegurado monopolios locales. La nueva economía que surge en torno a la web escapa, desde su comienzo, a las normativas nacionales. Nacen nuevos agentes que se insertan de inmediato en el mercado global y ofrecen servicios dirigidos al usuario final.

De este modo se realizan nuevos intercambios y el mercado cambia, sobre todo, porque se insertan nuevos jugadores. Estos no solo ofrecen sus productos, sino que cambian las reglas del juego al desarrollar la competitividad en términos que antes no existían, entre los que destaca la necesidad del usuario de estar siempre conectado. El teléfono móvil –esto es, la herramienta de conexión personal– se ha convertido en el icono de nuestra época, en la que la apertura de los mercados mundiales parece generar una estandarización de las necesidades que, en realidad, desemboca en incomprensiones y conflictos que ninguna bandera nacional parece capaz de contener. Cambian los equilibrios y una nueva geografía se erige tras la larga crisis al tiempo que se consolida una nueva sociedad.

La naturaleza del cambio se describe sobre la base del aumento del tráfico mundial de datos y de su proyección más allá de 2020 (fig. 2). Se modifican los equilibrios mundiales entre grandes áreas económicas, pues en este crecimiento acelerado se afirma cada vez con más fuerza la importancia de la región de Asia-Pacífico. El tráfico de datos medido en exabytes por mes se quintuplica entre 2016 y 2021, y dentro de este volumen, casi el 50% corresponde a intercambios del Lejano Oriente.

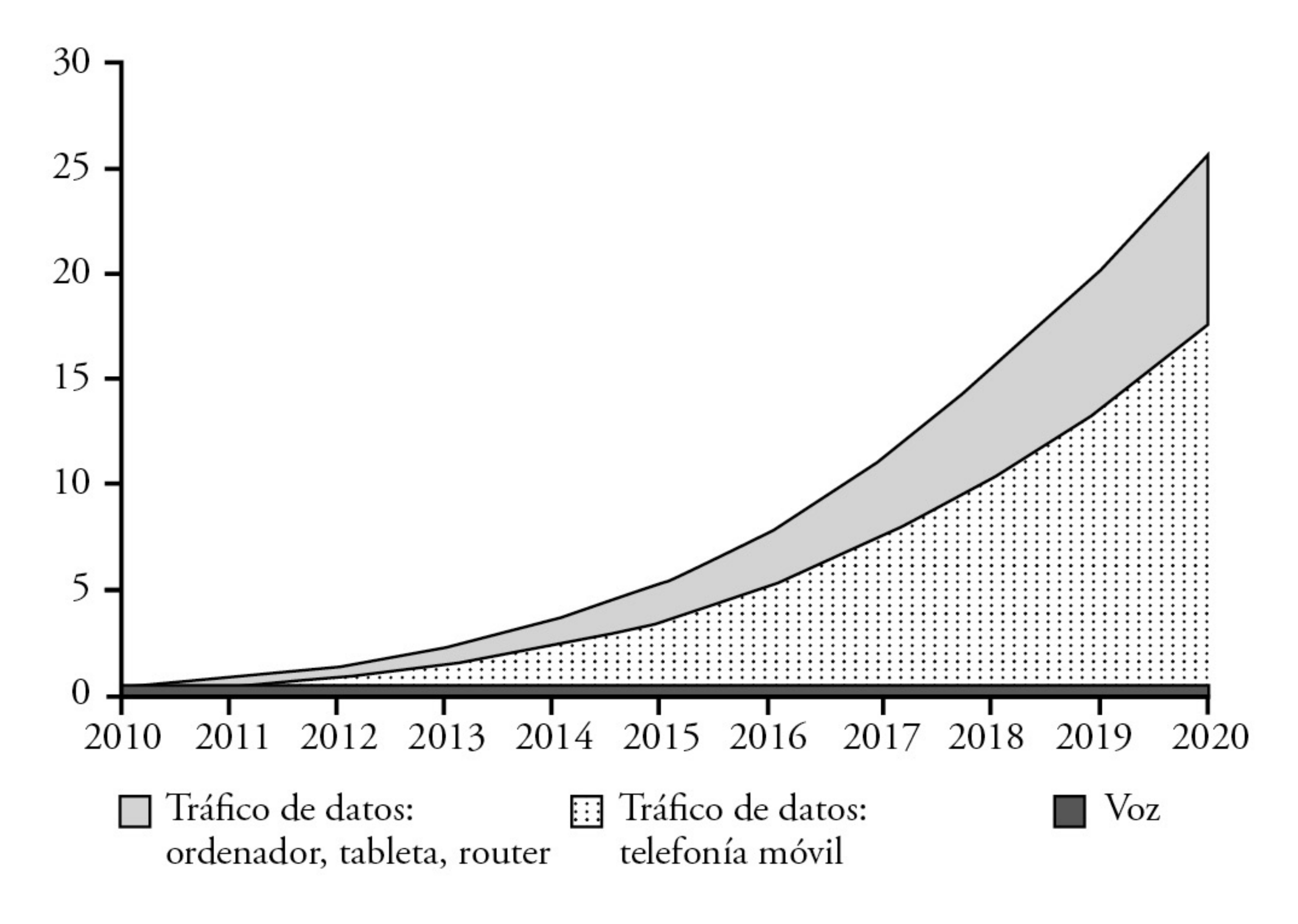


Figura 2. Tráfico de datos por aplicación a escala mundial calculado en exabytes
Fuente: Observatorio Ericsson, 2014.

Nota: Frente a un tráfico de voz que se mantiene sin cambios, crece de forma exponencial el tráfico de datos, en especial desde el teléfono móvil.

Al mismo tiempo, es significativa la relevancia de los terminales móviles (especialmente de los teléfonos inteligentes), pues demuestra que este incremento del intercambio de datos hace partícipe al individuo en un proceso de transformación de la sociedad tan profundo que muta la organización social misma partiendo de comportamientos personales. En 2016 se movían en el mundo alrededor de 7 exabytes por mes, que se convertirán en casi 50 en 2021 (fig. 3).

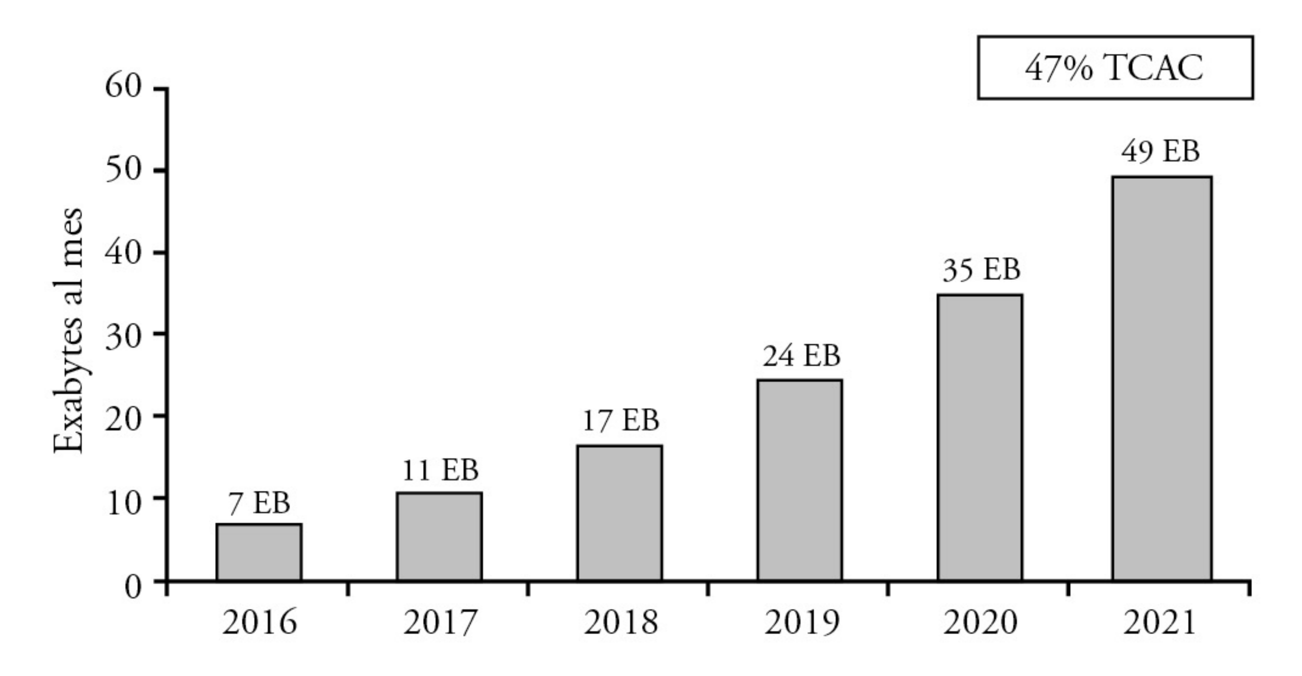


Figura 3. Previsión del aumento del tráfico de datos según el Observatorio CISCO (febrero de 2017)

Nota: El índice TCAC (Tasa de Crecimiento Anual Compuesto) mide el crecimiento anual compuesto incluyendo todas las modalidades de transmisión de datos.

Países lentos y países rápidos

En 2016 había en todo el mundo alrededor de 8.000 millones de dispositivos móviles entre teléfonos inteligentes (38%), teléfonos móviles no inteligentes (41%), tabletas y ordenadores (4%) y otros terminales (17%). En 2021 se estima que esta cifra crecerá hasta alcanzar los 12.000 millones entre teléfonos inteligentes (43%), teléfonos móviles no inteligentes (13%), tabletas y ordenadores (5%) y, sobre todo, gracias al desarrollo de otros tipos de terminales integrados, que el 39% del mercado (fuente: CISCO, 2017).

El alcance de este cambio estructural se pone de manifiesto de manera detallada en un análisis que relaciona los volúmenes con el valor añadido de la industria (fig. 4).

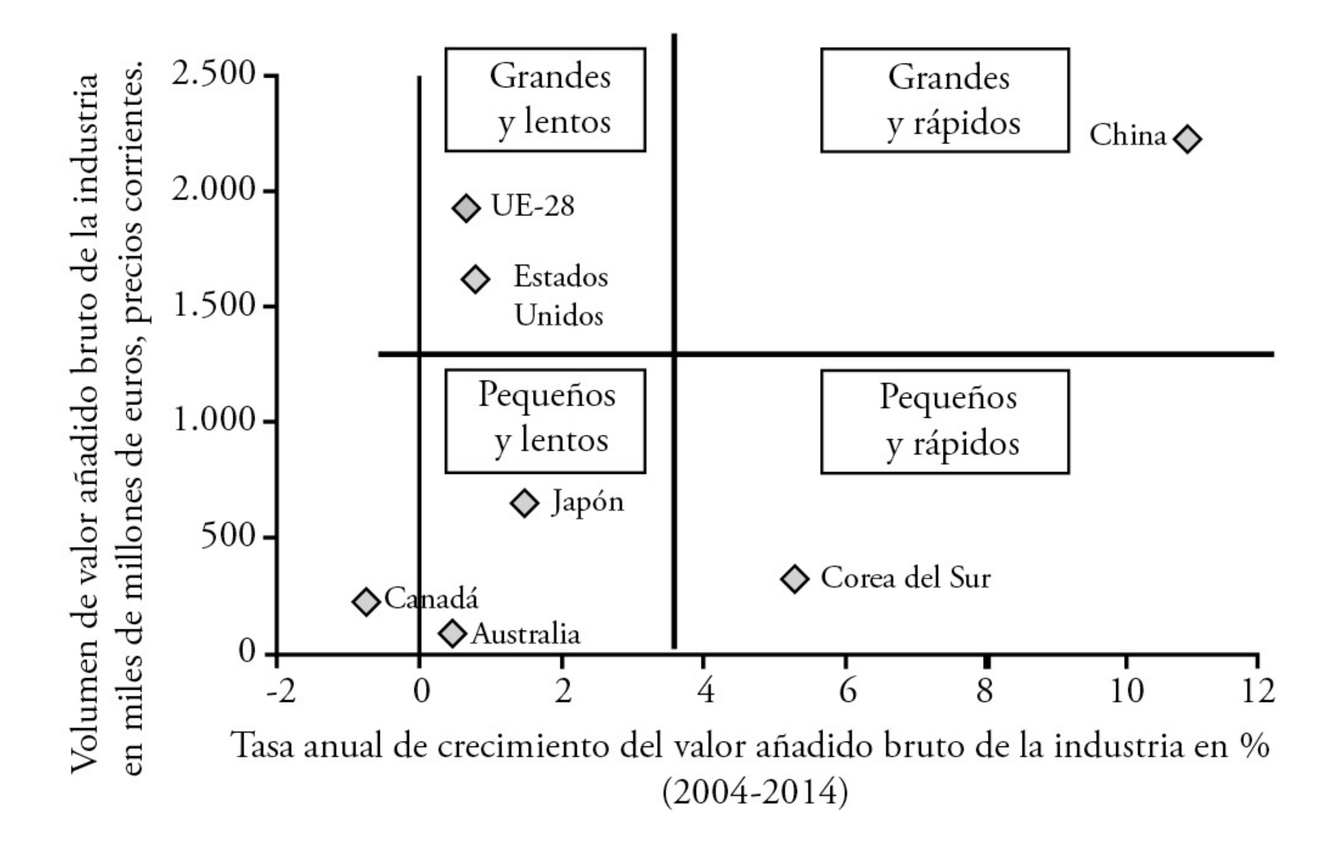


Figura 4 . Valor añadido bruto de la industria en términos de volumen (2014) y de tasa anual de crecimiento
Fuente: Comisión Europea, 2016.

Para describir la posición actual de los países por lo que concierne a la competitividad global, tomamos como base dos variables ligadas a la creación del valor añadido bruto:

x: tasa anual de crecimiento del valor añadido bruto *(Gross Value Added,* GVA) de la industria (en relación con el porcentaje de variación media anual de los precios corrientes) medida entre 2004 y 2014. Es decir, en un período marcado por la profunda crisis que tuvo lugar entre 2007 y 2012.

y: volumen de valor añadido bruto de la industria (calculado en miles de millones de euros) alcanzado por los distintos países en 2014.

Combinando estas dos variables, se obtienen cuatro grupos de países:

1. Los países pequeños y lentos; es decir, aquellos que generan un volumen reducido de valor añadido bruto de la industria y muestran tipos de cambio limitados. Se trata de países que, en la década indicada, no han logrado modificar su estructura productiva y han

mantenido una organización incapaz de generar un mayor valor añadido.

2. Los países pequeños y rápidos; esto es, aquellas economías que, aunque generan volúmenes contenidos de valor añadido bruto de la industria, demostraron entre los años 2004-2014 su capacidad para incrementar el valor añadido de sus productos.
3. Los países grandes y lentos son aquellos que han conseguido superar la crisis sin que esta incidiese demasiado en su tejido industrial y aumentando su capacidad de generar valor añadido.
4. Los países grandes y rápidos, en cambio, aprovecharon los años de la crisis para transformar sus economías internas mejorando la industria e incrementando la capacidad de generar valor añadido, es decir, enriqueciendo los bienes transformados mediante la investigación, mayores conocimientos y una mayor calidad final.

La Unión Europea y Estados Unidos se erigen como grandes países industriales, si bien poseen una tasa de crecimiento del valor añadido escasa. Ello prueba que estas economías no han experimentado una transformación de los sistemas productivos capaz de competir con el dinamismo de los nuevos exponentes de la industria. En concreto, la Unión Europea de los 28 alcanzó, en 2014, casi dos billones de valor añadido de la industria, pero en la década analizada mostró un índice de crecimiento de este valor de solo el 0,7% al año. Esto demuestra que, aunque algunos países europeos han sabido aprovechar plenamente las ventajas de la nueva situación global, el conjunto de la Unión no ha logrado convertirse en el punto de referencia de este cambio.

La mayor parte de los países generan un valor añadido bajo con tasas de crecimiento de dicho valor también reducidas, si bien son relevantes las distintas posiciones relativas. Algunas economías consolidadas, como Canadá y Australia, parecen haber sufrido la crisis y haber sido incapaces de aprovechar las oportunidades del nuevo contexto global. Incluso Japón, líder indiscutible de la fase previa de apertura, parece estancado en dinámicas de reducido valor añadido.

Es interesante el contraste entre China y Corea del Sur. Esta última, aunque dinámica, posee un volumen de valor añadido bruto de la industria mucho más bajo. Asimismo, en Corea del Sur –como en Japón–, la fase de aceleración en el cambio estructural ya se produjo en el pasado, por lo que

sigue siendo una economía de importantes dimensiones, si bien no se puede comparar con las tres áreas definidas como «grandes».

Para terminar, en el cuarto grupo encontramos a China, que puede calificarse como el único país «grande y rápido» capaz de mostrar volúmenes elevados de valor añadido bruto de la industria y una tasa de crecimiento mayor a cualquier otra, lo que prueba la profundidad de los procesos de transformación llevados a cabo durante los años de la crisis global. En efecto, este indicador no representa los niveles de facturación, sino el valor añadido que se ha logrado, es decir, el modo en que la estrategia de un determinado país se basa en una mera transformación de las materias primas o de trabajos poco especializados o, en cambio, en un desarrollo hacia un mayor aporte de competencias, talento y tecnologías.

Una primera respuesta a la posición de China se obtiene si se analiza el valor añadido de la industria tanto en miles de millones según los precios corrientes como en el tanto por ciento del PIB. En términos absolutos, el valor añadido de la industria china pasó de 300.000 millones de dólares en 1997 a 500.000 millones en 2000 y siguió creciendo de manera exponencial hasta superar una cuota de 1,8 billones en 2009 e ir más allá de los tres billones en 2015. Mientras tanto, Estados Unidos se situaba en torno a los dos billones, Japón y Alemania alrededor del billón e Italia en la mitad de esta última cifra.

Desde 2001 China aumenta a este ritmo continuo su valor añadido en términos absolutos para los derivados de la industria, hasta el punto de que este sector sigue siendo el motor del crecimiento del país. Por otra parte, China es el país que registra el índice más alto de valor añadido de la industria en relación con el total de su PIB, seguida –y no es una casualidad– por Alemania, Japón e Italia. Esta última, no obstante, muestra un volumen total de valor añadido de la industria y un índice de crecimiento muy inferiores, lo que demuestra la importancia de este sector como motor de una economía. Aunque se haya reducido, China mantiene su cuota de producción de manufacturas por encima del 30% de su valor añadido nacional, mientras Alemania, que se sitúa inmediatamente después en la clasificación, se ha estancado alrededor del 23%, Japón ha bajado hasta el 18%, Italia hasta el 15% y Estados Unidos hasta el 12%.

China en la competición global

¿Cómo es posible que China haya sido capaz de incrementar a esta velocidad y hasta estos niveles el valor añadido de su industria? Teniendo en cuenta las solicitudes de registro de patentes que sus residentes presentaron entre 2004 y 2014, y por lo que respecta al porcentaje del total de las solicitudes mundiales, el crecimiento de China resulta evidente, sobre todo en perjuicio de Japón y de Europa. Del mismo modo, sorprende la secuencia histórica desde 1985 hasta 2015, pues a partir de 2003 se produce una aceleración exponencial de las solicitudes que, partiendo de valores insignificantes, supera el millón anual en un arco de tiempo de diez años. Mientras tanto, los residentes en Estados Unidos solicitaban en torno a 220.000 patentes al año y los del resto de países desarrollados la mitad de esta última cifra.

El dinamismo de China, demostrado por su extraordinaria tasa anual de crecimiento del valor añadido de la industria, se explica sobre la base del aumento de las inversiones en investigación o, mejor dicho, en aquellos sectores en los que la investigación incrementa la producción, esto es, en la tecnociencia, que se puede considerar como la base sobre la que se erige esta nueva fase de la economía mundial.

Este dato se refuerza al comprobar cómo aumenta la oferta de robots industriales. Tras haberse situado en torno a las 100.000 unidades por año hasta 2009, la producción mundial ha superado rápidamente las 250.000 unidades por año. El incremento de su uso industrial se está produciendo, sobre todo, en Asia: se estima que en 2018 se instalarán casi 150.000 robots industriales. Esto demuestra una vez más que, en esta área, se está llevando a cabo una transformación productiva que tiende a emplear modelos de producción de tecnología avanzada capaces de fabricar bienes que incorporan más investigación e innovación (fuente: International Federation of Robotics, 2016).

La nueva extensión del mercado en la era de la globalización se distingue, sobre todo, por un cambio en los equilibrios de fuerza a nivel mundial. La profunda crisis que surgió tras la expansión posterior a la apertura de los mercados mundiales llevó a los países industrializados a buscar el liderazgo global en su capacidad para aumentar el valor añadido de la industria a través de un intenso fomento de las áreas de investigación e innovación, que pueden aportar patentes que redunden en beneficios productivos.

China, que había entrado en la fase anterior con una producción de escaso valor añadido e imitando las medidas de otros países, se colocó como una gran economía centrada en una industria cada vez más basada en una estructura tecnológica y científica capaz de tutelar y de desarrollar sus propias innovaciones.

El posicionamiento en el mercado de los teléfonos móviles ofrece una imagen clara de esta transformación estructural. A principios de 2011, Nokia poseía el 32,7% del mercado, Samsung el 21,3%, IG el 8,1%, Apple el 4,3%, RIM el 3,8%, TCL/Alcatel el 3,3%, Motorola el 3%, el mismo porcentaje que la joven Huawei. El resto de la cuota se repartía entre otros productores (fuente: Mobileblog, 2017). A comienzos de 2017, con un total de 366 millones de teléfonos inteligentes vendidos exclusivamente en el segundo trimestre, Samsung disponía del 22,5% del mercado, Apple del 12,1% (si bien el precio medio de sus terminales casi triplica el de la competencia), en tercer lugar se sitúa Huawei con el 9,8%, y en cuarto y quinto puesto las también chinas Oppo, con el 7,1%, y Vivo, con el 6,6%, que cada año doblan su producción (fuente: datos Gartner, agosto de 2017).

En solo seis años, muchas compañías líderes han desaparecido, como es el caso de Nokia. Fundada en 1867 como fábrica de papel y de goma, en 1967, cien años después de su nacimiento, Nokia lanza su primer teléfono móvil y se convierte en el líder del mercado, primacía que mantiene hasta que Steve Jobs lanza el primer teléfono inteligente y el escenario cambia. Nokia pierde su liderazgo y comienza a ir a la zaga precisamente porque no logra mantener la capacidad de innovación ni una organización de la producción adecuada para la nueva extensión del mercado, determinada por la irrupción del nuevo competidor. En 2007 Nokia alcanzó el 40% del mercado de los teléfonos móviles en todo el mundo. En 2013 Microsoft compra Nokia, ya en declive tras la batalla perdida con Apple, para fabricar teléfonos bajo los sellos de Lumia y Asha; después cerrará definitivamente la división de fabricación de este tipo de dispositivos. En 2017, una sociedad finlandesa compra la antigua firma Nokia para volverla a lanzar en el mercado chino.

Huawei se fundó en 1987 en Shenzhen, en la provincia de Cantón. Shenzhen fue la primera zona franca construida entre Hong Kong y Cantón, y fue allí donde las grandes multinacionales concentraron la producción en masa de microchips y componentes de base para bienes que, más tarde, se ensamblarían en Estados Unidos o en Europa. Con esto, se invirtió en

tecnología y en competencias, que más tarde se han convertido en los pilares del desarrollo de la industria electrónica china. El mejor ejemplo de ello es Huawei, que cada año invierte el 15% de sus beneficios en investigación e innovación. Huawei es la protagonista del crecimiento chino anteriormente descrito; no en vano, en 2015 registró 50.000 patentes y es reconocida por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual de Naciones Unidas como la primera empresa en el mundo en lo que concierne al volumen de solicitudes de patentes internacionales.

Oppo Digital fue fundada en 2004 en California, aunque en el mismo año la marca se cedió a la empresa china Oppo Electronics con sede en Dongguan, en la provincia de Cantón.

También en Cantón se fundó, en 2009, Vivo, que se especializó en dispositivos de audio de gran calidad y en el desarrollo de aplicaciones. Las tres empresas con base en esta provincia disponen del 23,5% del mercado, una cuota mayor a la de Samsung y que duplica la de Apple.

El traslado a China de aquellos sectores de la industria que Occidente relegó a un segundo plano para centrarse en las finanzas y en los servicios permitió el auge de una cultura industrial, de conocimientos y de competencias que ha convertido al distrito entre Hong Kong, Shenzhen y Cantón en el motor de la nueva industria.

En este nuevo contexto global, tan profundamente mutado, surgen grandes cuestiones que, precisamente por la nueva dimensión mundial de la economía, asumen un valor crucial a la hora de describir en su conjunto tanto la complejidad social en la que debe operar la nueva industria como la problemática global que el sistema científico-productivo tiene que afrontar y resolver en el futuro.

La nueva industria 4.0

En este contexto global, abierto y competitivo, el elemento estructurador de la nueva industria procede cada vez con más frecuencia de la interconexión continua de cada individuo, de cada empresa, de cada organismo de investigación a través de redes de conexión planetarias. Cada vez con más frecuencia el verdadero valor añadido se identifica con productos que surgen de la investigación y que se convierten en sí mismos en prototipos industriales cuyo coste de reproducción resulta extraordinariamente inferior

al coste que se afrontó para llegar a su primera formulación. Ejemplos de ello podrían ser tanto un *software,* cuya copia tiene costes marginales irrelevantes con respecto a su desarrollo, como la fijación de una molécula replicable. En este sentido las barreras para la entrada de los nuevos competidores cambian de manera significativa, pues se desplazan desde la dimensión de las instalaciones de producción –en las que se basaba, por ejemplo, la hipótesis de disuasión de la entrada esbozada por Paolo Sylos Labini– hasta la organización, dimensión y prestigio de los laboratorios en los que se obtiene el prototipo, en el seno de la misma empresa o de un contexto integrado con las estructuras universitarias de investigación.

Por ende, en la base de la nueva revolución industrial ya no se encuentra exclusivamente el desarrollo de las telecomunicaciones y de la informática, que caracterizaron la fase anterior, la tercera revolución industrial que siguió al extenso ciclo fordista. El desarrollo de la digitalización ha permitido la interconexión continua –no solo entre sistemas productivos, sino cada vez con más frecuencia entre individuos– que ha transformado el día a día de poblaciones separadas entre sí por la historia y las tradiciones.

Esta hiperconexión, con la correspondiente producción exponencial de los datos, no solo genera la posibilidad de responder a la demanda que deriva de las necesidades individuales, sino que también tiene que convertirse en un instrumento capaz de plantar cara a los grandes desafíos globales, como la escasez de agua, la sostenibilidad de la vida en las grandes ciudades, el hambre y las desigualdades sociales, que en la actualidad representan los nuevos bienes públicos a escala mundial.

No debe olvidarse que precisamente el cambio social que se ha verificado en esta fase de interconexión global permite desarrollar esa tensión dinámica que empuja al uso de todas las tecnologías disponibles y al fomento de la investigación para responder a las nuevas exigencias privadas y públicas que caracterizan esta fase de nuestra historia.

La integración entre sistemas productivos, educativos y científicos se convierte en la nueva modalidad para hacer frente y para gestionar la complejidad contemporánea, pero también en un factor determinante para la locación de los núcleos de los ciclos productivos globales. En los primeros años de apertura del comercio mundial, las empresas deslocalizaron sus distintas fases de producción en aras del valor añadido que se puede lograr en distintos contextos territoriales, aunque mantuvieron las estructuras de investigación, planificación y control de todo el ciclo productivo en aquellos

países en los que la ciencia y la tecnología se entrelazan íntimamente con los sistemas productivos.

Por consiguiente, la industria 4.0 no debe ser vista exclusivamente desde el punto de vista tecnológico, sino también desde la óptica de la capacidad de «coordinar» ciencia, tecnología, competencias y contexto social con el objetivo de disponer de la mejor capacidad para que converjan tecnologías distintas, pero complementarias, para dar respuesta tanto a las grandes cuestiones globales como a las peticiones individuales de millones de personas que, incluso antes que clientes, son «ciudadanos».

Partiendo de la figura 5, trataremos de esquematizar de un modo más adecuado cuáles han sido las transformaciones en la organización de la producción desde la primera revolución industrial hasta esta cuarta.

Volumen de producción			
Alto	2. Producción rígida de masas		4. Producción personalizada a gran escala
Medio		3. Producción flexible	
Bajo			1. Producción individual personalizada
	Bajo	Medio	Alto

Diferenciación del producto

Figura 5. Las transformaciones del producto y del proceso partiendo de dos variables: el volumen de producción y el grado de diferenciación del producto

Con «volumen de producción» nos referimos aquí a la cantidad de bienes producidos, con «diferenciación del producto» a la variedad de bienes producidos en una misma estructura de producción.

1. En este esquema partimos de la producción artesanal, que tiene un volumen reducido, pero gran capacidad de diferenciar el producto

final. Un ejemplo de este modo de producción podría ser el sastre de confianza, que toma las medidas y confecciona un traje «a medida» según los gustos y los deseos del cliente. En este caso, la competencia se basa en la calidad del producto. Podríamos definir esta producción como individual y personalizada.

2. Por otro lado, existe un tipo de producción que se basa, en cambio, en la producción a gran escala de un solo tipo de producto estandarizado. Retomando nuestro ejemplo, se trataría aquí de una gran empresa textil que produce trajes estándares que se pondrán a la venta en grandes almacenes y con respecto a los cuales la competencia actúa exclusivamente en lo que respecta al precio. Podríamos denominar esta producción como rígida de masas. Durante décadas esta ha sido la forma dominante para la gran empresa industrial (el fordismo).
3. Entre estas dos formas extremas de producción, la que se basa en la diferenciación del producto y la que, en cambio, se basa en el gran volumen de producción, se insertó con el paso del tiempo una tercera modalidad, que podríamos llamar «producción flexible de masas», en la que cabe la posibilidad de diferenciar el producto homogéneo. Esta modalidad permite ampliar discretamente la gama de productos ofrecidos, aunque sin renunciar a la fabricación a gran escala. En ella, la competitividad se basa tanto en el precio como en la posibilidad que posee el consumidor de introducir una variación en el producto base. Esta es la modalidad organizativa con la que se plantó cara a la crisis de los años setenta y que ha dominado el panorama industrial en los últimos cuarenta años.
4. Podríamos definir el objetivo hacia el que nos movemos en la actualidad como una producción personalizada que, no obstante, opera en grandes volúmenes. Se trata, por consiguiente, de la posibilidad de mantener un flujo continuo de producción, si bien compuesto por una serie continua de productos diferenciados entre sí de modo que respondan a las necesidades individuales. Este es el ámbito hacia el que camina la reestructuración de la organización productiva que definimos como industria 4.0.

Diferenciación y dimensión de la producción

La producción 4.0 tiene el objetivo de introducir «continuamente» diferenciaciones en el producto, hasta llegar a una personalización de este, pero sin renunciar a la fabricación a gran escala. Sin embargo, aquí vuelve a surgir la cuestión –que Smith ya adelantó– de la coherencia entre la organización de la producción y la extensión del mercado. La posibilidad de producir a gran escala bienes personalizados está ligada hoy en día a la posibilidad de vender esos mismos bienes en mercados de dimensiones globales.

Para entender mejor este hecho, partamos de un ejemplo. Louis Vuitton, del grupo LVMH, líder en la producción de bienes de lujo, decide entrar en el sector del calzado masculino posicionándose en el segmento más alto, para lo que compra una boutique ya en activo bajo la marca Berluti.

Olga Berluti fabricaba calzado de gran calidad con métodos artesanales que ponía a la venta en una única tienda, en París. En nuestro esquema (fig. 5), se sitúa en el cuadrante 1. En el otro lado del mercado se sitúan los numerosos productores que fabrican calzado estándar, a bajo coste, y posicionados en nuestro esquema en el cuadrante 2. Entre ambos, se hallan los fabricantes de calidad media, que pueden vender calzado con una gama de variantes, por ejemplo, de talla y color, que colocaremos en el cuadrante 3.

LVMH tiene la intención de establecer una red de más de cien tiendas en todo el mundo que venderán bienes de alta calidad de una gama tan amplia que pueda satisfacer las necesidades personalizadas, de modo que se coloca en el cuadrante 4 de nuestro esquema. Para apoyar este posicionamiento es necesario producir bienes con la misma calidad que los obtenidos mediante la producción artesanal, pero con volúmenes industriales aptos para el mercado global. ¿Cómo se puede obtener este resultado?

Por una parte, es necesario disponer de una organización de la producción que pueda garantizar la calidad y la variedad de los productos. Por otra, se requiere la conexión entre las tiendas repartidas por todo el mundo y la estructura productiva, de modo que se pueda gestionar de manera continua un flujo de producción de bienes diferenciados, pero homogéneos en lo que concierne a la calidad.

LVMH decide ubicar las instalaciones en Ferrara, pues en esta ciudad aún se pueden encontrar las habilidades necesarias para confeccionar calzado de gran calidad artesanal. Se trata de los antiguos empleados de una empresa, Zenith, que había cerrado sus puertas muchos años antes debido a que

producía un volumen muy reducido de bienes de gama alta que el mercado al que se dirigía no era capaz de absorber por los límites de sus dimensiones. La capacidad del grupo LVMH, en cambio, permite dirigirse ahora a una cuota de mercado que, en la era de la globalización, ha dejado de ser una élite para convertirse en un sector en expansión cuyo desarrollo interno despeja el camino para los bienes de lujo.

En este caso, el desarrollo de la nueva Berluti –insertada en el grupo LVMH– es consecuencia, por una parte, de la digitalización de la producción, que se usa para garantizar la continua retroalimentación entre la demanda de los consumidores, el diseño y la planificación, la producción y la logística. Por otra parte, se debe al incremento de habilidad, destreza y creatividad que se emplearán con capacidades «artesanas», pero que ahora se aplicarán a gran escala.

Asimismo, cabe recordar que la propuesta de Louis Vuitton a la región Emilia-Romaña no consistía en una mera inversión, sino en el apoyo para poner en marcha cursos de formación profesional para poder disponer de las competencias necesarias de cara al desarrollo de esta producción personalizada a gran escala; es decir, para contar con nuevos artesanos «zapateros» y con nuevos artesanos digitales que gestionen la masa de datos que esta dimensión productiva global conlleva. Para fabricar bienes de alto valor añadido es necesario, por lo tanto, volver a la *skill,* a la *dexterity* y al *judgement* y, por ende, a la calidad de los recursos humanos.

Volvamos a la figura 5 y dotémosla de una perspectiva histórica más explícita:

Economías de escala

Alto	Producción rígida de masas	*B*	Producción personalizada a gran escala
Medio	*A*	Producción flexible	*C*
Bajo			Producción individual personalizada
	Bajo	Medio	Alto

Economías de gama

Figura 6. Relación entre economías de escala y economías de gama

La figura 6 retoma los conceptos expuestos hasta aquí poniendo en relación entre sí las *economías de escala* con las *economías de gama* . Las economías de escala son los costes unitarios menores que se obtienen al producir un gran volumen de bienes homogéneos. Las economías de gama son los costes unitarios menores que se obtienen al producir un conjunto de bienes diferenciados para cuya fabricación, sin embargo, se usan las mismas herramientas, las mismas competencias y las mismas organizaciones.

La producción artesanal es un ejemplo de las ventajas derivadas del uso de las mismas competencias y las mismas herramientas para fabricar bienes diferenciados: el sastre que produce tanto trajes de etiqueta como pantalones para hacer deporte en realidad dispone de competencias y herramientas capaces de aplicarse tanto a una producción como a la otra y de las que, en ambos casos, lleva a cabo todas las fases. En cambio, la producción fordista es un ejemplo de eficiencia basada en la especialización en un solo producto –por ejemplo, pantalones de deporte a gran escala o, como alternativa, trajes de etiqueta– que se realiza dividiendo el ciclo de producción en fases, situadas una tras otra. De este modo, las competencias y las herramientas se maximizan al aplicarse a las actividades productivas aisladas.

En el primer caso, si se desea aumentar el volumen de la producción, es necesario emplear a más de un sastre para que lleve a cabo las tareas solicitadas hasta la obtención del producto final. En el segundo caso, en cambio, los sastres trabajarían en cadena y cada uno de ellos se especializaría en una sola actividad, de modo que aumentaría la velocidad del trabajo, aunque con esta especialización excesiva se correría el riesgo de que progresivamente perdieran el resto de competencias necesarias para llevar a cabo todas las tareas que desembocan en el producto final. En el primer caso, podríamos tener productos personalizados para clientes individuales, pero a un coste elevado; en el segundo, productos a un precio menor, pero estandarizados. Partiendo de una competencia basada en la calidad y en la personalización, se llega a una competitividad basada en el precio con productos iguales.

Se trata, obviamente, de formas productivas dirigidas a distintos mercados: en el caso de la producción artesanal, se opera en mercados locales; en el segundo caso, nos dirigimos a mercados amplios en los que el elemento relevante es el precio de un producto estandarizado.

Tras la primera revolución industrial, desde la primera mitad del siglo XVIII , se comienza a estructurar la producción pasando de la típica fabricación artesanal a manufacturas en las que grupos de trabajadores gestionan las distintas fases. Hacia finales del siglo siguiente, se llega a teorizar la forma en que esta modalidad de trabajo se puede desarrollar hasta su punto más extremo, segmentando cada fase en tareas simples y repetitivas hasta crear una cadena de labores que, al combinarse, llevan a la fabricación progresiva del producto final.

En el *Informe* que presentó en 1895 y que más tarde desarrollaría en sus famosos *Principios de la administración científica,* Taylor postulaba que cada una de las tareas tiene que descomponerse en operaciones y movimientos simples y definidos según tiempos y métodos predeterminados, de modo que las actividades ejecutoras y las actividades intelectuales queden divididas entre el taller y la dirección.

Ford adoptó este enfoque y, en 1908, salió de su fábrica el primer Ford T negro, un producto innovador para la época, simple, básico, pero disponible a un precio que no solo estaba al alcance de las estrellas del cine, sino de cualquier americano. Esto tuvo un impacto sin precedentes en la sociedad estadounidense. De este producto, fabricado en una cadena de montaje, se vendieron quince millones de unidades en menos de veinte años, con lo que

se definió un modelo de organización de la producción que caracterizó un amplio ciclo económico que se extendió casi hasta finales de siglo. Este ciclo no fue solo el de la producción en masa, sino también el del consumo en masa.

Esta transición de la producción personalizada sobre la base del volumen a la producción rígida en masa se expresa en la figura 6 con la flecha A: para incrementar las ventajas de la especialización (las economías de escala) se pierden las ventajas de la producción conjunta (las economías de gama).

En los años setenta del siglo XX , el extenso ciclo de la producción estandarizada en masa se agotó en todos los países. La crisis petrolera redujo la capacidad de gasto de las familias y, en el seno de los mercados nacionales, hasta entonces dominados por un líder o un oligopolio limitado, se produjo una profunda reestructuración; el ejemplo de referencia sigue siendo el mercado del automóvil en Europa. La reducción del consumo en cada uno de los mercados nacionales llevó a los líderes de cada sector a trasladar sus ventas a los mercados vecinos, inaugurando una «competencia intraindustrial» que aceleró un choque que no se basaba solo en el precio, sino en la capacidad de diferenciar el producto propio del ofrecido por el competidor más directo.

La gran reorganización de los procesos productivos que tuvo lugar en el ocaso del siglo XX trató de aumentar las economías de escala sin que hubiese una pérdida significativa en las economías de gama. Esta transición se expresa con la flecha B.

La larga crisis de los años setenta produjo, por tanto, un cambio de lo que habíamos denominado *extent of the market,* esto es, no solo una ampliación física de los mercados –apoyada, además, en la Unión Europea–, sino también de las modalidades de competitividad. Esto se debía a que cada una de las grandes empresas era el *incumbent,* es decir, el defensor en el mercado de origen, y el *entrant,* esto es, el atacante en el mercado del vecino. En este nuevo contexto competitivo, era necesario adecuar también la organización de la producción (la *division of labour)* para poder producir volúmenes más reducidos de cada una de las categorías de coches que, a su vez, estuviesen más diferenciados entre sí. Por ejemplo, fabricando automóviles con partes comunes y partes diferenciadas, de modo que la competitividad se basase tanto en el precio como en la calidad.

Desde 2001 han entrado nuevos competidores en el mercado mundial que provienen de aquellos países que antes estaban excluidos o se encontraban al

margen de las economías avanzadas, y el mejor ejemplo de ello es China. La nueva crisis económica y la entrada de nuevos competidores que la acompañó han vuelto a cambiar el *extent of the market,* impulsando a la correspondiente modificación de la organización de la producción (la *division of labour),* que ahora tiene que adecuarse a un mercado de escala mundial altamente competitivo. Esta nueva transición se indica con la flecha C: se trata de obtener ventajas relacionadas tanto con la escala como con la gama; es decir, de aprovechar las ventajas ligadas a la producción en gran volumen exprimiendo al máximo las ventajas de la producción conjunta.

La fórmula «industria 4.0» representa esta profunda transformación industrial en la que se hace necesario ser capaz de operar a gran escala en un mercado global, si bien también hace falta moverse para dar respuesta a necesidades cada vez más personalizadas.

A partir de la producción flexible en masa y de la producción personalizada a gran escala se llega a una competitividad que no se basa solo en el precio o en la variedad de la gama, sino en la posibilidad de satisfacer necesidades emergentes con una respuesta puntual. Para ello es necesaria una interacción directa entre el comprador y el productor, que debe disponer de una organización que parte de la demanda y ajusta continuamente su capacidad productiva y que sustituye la linealidad de la producción fordista –desde las materias primas a los almacenes finales– con una circularidad informativa que otorga a la producción los comandos para elaborar los bienes personalizados que el cliente demanda.

Este modelo de producción se materializa, por ejemplo, en las empresas de *packaging,* que ya no venden herramientas aisladas, sino que diseñan junto al cliente sistemas específicos integrados y modelados sobre sus necesidades. No es una casualidad que la industria italiana de este sector se haya colocado a la cabeza a escala mundial gracias a su capacidad de dar respuesta a clientes que cada vez necesitan recurrir a líneas productivas más flexibles que puedan satisfacer sus exigencias de posicionamiento en el mercado global. La capacidad de las empresas italianas (por ejemplo, Coesia, IMA, Marchesini, SACMI, todas ellas ubicadas alrededor de Bolonia) de conjugar competencias, atención de tipo artesanal y organización de tipo industrial es el emblema del concepto mismo de industria 4.0. Por lo tanto, no se trata solo de tecnologías –o, mejor dicho, de mejorar el uso de las tecnologías de modo convergente e integrador–, sino también de *skill, dexterity* y *judgement,* es decir, de recursos humanos

adecuados para una producción que debe gestionar un proceso continuo y un producto discontinuo.

Coesia, IMA, Marchesini y SACMI operan hoy en día en competencia mundial entre sí, pero todas ellas están ubicadas en el mismo ámbito territorial, en el que se condensan proveedores, escuelas, universidades y otras instituciones que, al combinarse, determinan esa «conciencia de los lugares» de la que ya hablaba Giacomo Becattini en su último trabajo, publicado en 2015.

En este sentido, la organización global de la empresa hace hincapié en la relación circular que se incrementa al combinar las actividades cercanas a los clientes y las fases de proyección y realización que tienen que activar un flujo continuo de bienes diferenciados entre sí y que responden a necesidades personalizadas. La fábrica 4.0, por ende, se crea mediante una continua conexión entre todos los componentes del ciclo productivo, incluidos los robots de producción, que, sin embargo, son solo los elementos más visibles de una reorganización productiva en la que los flujos materiales derivan constantemente de flujos inmateriales de datos, que se erigen como el auténtico pilar que sostiene esta economía mundial.

Annalisa Magone y Tatiana Mazali ofrecen en su *Industria 4.0* (2016) un análisis de las transformaciones en curso en la industria italiana y demuestran cómo las empresas de ese país son capaces de afrontar esta fase valiéndose de sus capacidades de innovar tanto en los productos como en los modelos de organización. Luca Beltrametti, Nino Guarnacci, Nicola Intini y Corrado La Forgia en el libro *La fabbrica connessa* (2017) abordan, precisamente, la organización de la producción y subrayan que la distinta forma de estructurar las funciones de una empresa y su continua interconexión –y no la introducción de nueva maquinaria– constituye el cambio más profundo que ha conllevado la industria 4.0.

La nueva organización de la producción –cuyas fases están conectadas entre sí– busca responder a una demanda personalizada y en continua renovación gracias a una nueva relación entre hombres y robots. La cuestión de una nueva fase de automatización industrial y, por lo tanto, del empleo de maquinaria para realizar nuevas labores gira en torno al cambio profundo de la organización misma de la sociedad. Esta sociedad pasó de ser agrícola a convertirse en industrial y, posteriormente, se centró en los servicios, convencida de poder absorber el empleo que se había perdido en los sectores primario y secundario. Hoy, sin embargo, tiene que plantar cara al desarrollo

de una industria totalmente integrada con los servicios y con cambios laborales que aún son difíciles de predecir.

El surgimiento de desafíos globales y el papel de los bienes comunes

La apertura de los mercados globales ha demostrado que los problemas también han alcanzado una escala global. Así, Naciones Unidas ha descrito en los denominados «Objetivos de Desarrollo Sostenible» una serie de cuestiones (prevalentemente políticas, sociales, económicas y ambientales) a las que se debe plantar cara contextualmente y desde perspectivas interdisciplinares. Ello supone activar todas las estructuras científicas, las capacidades técnicas y las competencias productivas disponibles hoy en día. La lucha contra la pobreza, contra el hambre, el acceso a agua limpia y a energías renovables, una buena sanidad y una buena educación para todos, la reducción de las desigualdades y la capacidad de garantizar trabajo y sostenibilidad ambiental y social a las comunidades, modelos de consumo responsables, frenar el cambio climático garantizando el cuidado de los ecosistemas marinos y terrestres se han convertido, combinándose entre sí, en los objetivos globales para un desarrollo sostenible.

Sin embargo, para perseguir estos objetivos se hacen necesarios instrumentos de paz y justicia y una extraordinaria capacidad de implicar todas las fuerzas, los mejores recursos humanos y todas las competencias disponibles en el mundo. Por consiguiente, no se trata de dar respuesta a necesidades individuales, sino de plantar cara a grandes necesidades colectivas.

Una reflexión acerca de la nueva revolución industrial carecería de sentido si no se insertase en esta perspectiva global que Naciones Unidas propone como algo crucial para las próximas décadas. Interpretar la industria 4.0 como la mera introducción de robots para producir bienes comerciales o reducir la industria 4.0 a la digitalización de las actividades de producción e intercambio individuales, sin tener en cuenta la dimensión de los problemas que se abren en un mercado globalizado, restaría importancia a la etiqueta misma de «revolución» que se pretende dar a esta transformación productiva.



Figura 7. Los grandes objetivos propuestos por Naciones Unidas para el nuevo milenio

El hecho de que se haya materializado la necesidad de intervenir en estos sectores, típicamente calificables como bienes públicos, demuestra cómo se han abierto oportunidades de desarrollo para economías capaces de conjugar capacidades de innovación productiva y aparatos científicos y tecnológicos que puedan afrontar grandes desafíos globales que, de no ser resueltos, amenazarían gravemente el crecimiento de todo el planeta.

Precisamente la dimensión de estos «objetivos globales» reclama la necesidad de sistemas productivos que sepan gestionar enormes volúmenes de datos desde una perspectiva multidisciplinar que lleve a la convergencia entre ciencias y distintas materias que se complementan al abordarse conjuntamente.

Tomemos como ejemplo la cuestión de la escasez de agua y de la desertificación por un lado y, por otro, la de las devastadoras riadas que golpean a enteras comunidades. La gestión de estos fenómenos requiere la capacidad de aplicación de los problemas científicos en materia de previsiones meteorológicas a medio plazo, de manera que se puedan tomar medidas para la prevención. No obstante, también es necesario que todas las tecnologías disponibles se pongan al servicio de la lucha contra el cambio climático para mitigar los daños que este provoca. Al mismo tiempo, se

abren espacios para las empresas que sepan aplicar tecnologías a la gestión del ciclo de las aguas, a la reducción de la dispersión hídrica, a la limpieza y saneamiento de las aguas residuales o a la potabilización y reutilización de estos mismos recursos teniendo en cuenta las particularidades de los suelos y de las condiciones sociales de uso de este bien imprescindible. La gestión integrada de un sistema de aguas requiere, por ejemplo, una red de seguimiento continuo, incluso en situaciones extremas, que pueda poner en conexión permanente todos los puntos del sistema. Para esto, es esencial que refleje permanentemente los cambios que se produzcan y que puedan alterar el funcionamiento de una «máquina compleja», como puede ser un sistema fluvial integrado con las necesidades de un gran centro urbano cercano y con la demanda de las actividades industriales, agrícolas y de servicio correspondientes.

Otro aspecto de la transformación productiva que identificamos como industria 4.0 radica en la aplicación de nuevos enfoques científicos y tecnológicos –como, por ejemplo, *big data,* redes de sensores, interconexión mediante la nube– en la gestión de los bienes comunes.

Si la industria 4.0 se limitase a la resolución de los problemas ligados al consumo individual, carecería del carácter de cambio drástico y generalizado que una etiqueta tan exigente como *revolución industrial* conlleva. El banco de pruebas más significativo para la «producción digital hiperconectada» consistirá en plantar cara al gran tema de los bienes comunes; esto es, a cómo gestionar en tiempo real las grandes cuestiones de la vida colectiva de hoy en día, desde el cambio climático hasta la gestión de los grandes centros urbanos, pasando por la seguridad individual y por el derecho a la privacidad.

4. Trabajo y tecnología en la cuarta revolución industrial

La convergencia de las tecnologías: del ábaco al ordenador mecánico

El gran cambio que identificamos con la cuarta revolución industrial se basa en una convergencia de tecnologías distintas, pero cada vez más complementarias entre sí. Estas deben analizarse en su conjunto, puesto que distintos itinerarios de investigación y de desarrollo industrial se entrecruzaron para definir tanto la actual transformación productiva como el cambio en las estructuras sociales. La capacidad combinatoria de la ciencia se convierte, una vez más, en la base de las nuevas tecnologías que, al combinarse –o contaminarse– entre sí, se transforman en el pilar de la nueva industria. Sigamos el rastro de algunas de estas tecnologías y veamos cómo se han entrecruzado.

El primer itinerario es el del cálculo. Desde tiempos inmemorables, los hombres han sentido la necesidad de inventar instrumentos para facilitar el cálculo como base necesaria para contabilizar los elementos existentes (las cabezas de ganado o las semillas utilizadas), pero también para formular hipótesis de previsión (cuántas semillas necesitaría en caso de que quisiera ampliar el terreno que cultivo). El hombre disponía de la vista, pero su mirada solo podía comprender tres o cuatro objetos; podía, por supuesto, contar con los dedos de las manos y los pies, con las orejas y la nariz para tratar de recordar cuántos objetos veía. La invención del ábaco constituyó el descubrimiento crucial. Una simple tabla en la que se extendía arena sobre la que se hacían unos puntos con un trozo de madera para anotar cuántas cosas se estaban viendo, pero también para dibujar el conjunto de objetos distintos que se estaban tomando en consideración. Más tarde, en esta tabla se hicieron una serie de ranuras paralelas en las que se colocaron unas piedrecitas. En la primera ranura se situaban las piedras que representaban las unidades que, acumuladas, daban lugar a una unidad superior, por

ejemplo, a una decena de objetos iguales. Esta se representaba en la segunda ranura, al tiempo que la tercera se usaba para las centenas y así sucesivamente.

En todas las civilizaciones se encuentran ejemplos de ábacos (partiendo de China, donde siguen empleándose en la actualidad) que se usaban como herramienta para enseñar a los niños a contar. Se hallan ábacos en las antiguas culturas china e india, entre los árabes y los griegos; en Roma, las piedrecitas se llamaban *calculus* y contarlas implicaba «calcular».

En realidad, en aquellas simples tablas que permitían sumar y restar con facilidad se concentraba toda la sabiduría matemática de la Antigüedad y, sobre todo, la capacidad de abstracción, de representación formal y de convención que permitían a los hombres aceptar un mismo sistema de contabilización.

Estos mismos principios de abstracción, de representación y de convención se hallan en la base de los grandes avances que las matemáticas han experimentado desde tiempos de los griegos. Son estos principios los que permitieron resolver con éxito complejos problemas teóricos que también tuvieron consecuencias prácticas de gran alcance.

La navegación en mares abiertos o la orientación en los desiertos exigía calcular las distancias entre puntos lejanos si se disponía de elementos de referencia, por muy remotos que estos fuesen, como las estrellas. Para ello, era necesario desarrollar instrumentos que determinasen una posición o que trazasen la ruta que se debía seguir en aquellos lugares en los que no hubiese puntos de referencia visibles. En el astrolabio se condensaba una extraordinaria investigación sobre trigonometría, que había dejado de ser una abstracción teórica extrema para convertirse en un instrumento aplicado fundamental para el desarrollo del nuevo comercio.

Gracias a los árabes volvió a Europa el saber matemático que se había dispersado en los siglos oscuros que siguieron a la caída del Imperio romano. La aritmética, la geometría, la trigonometría y el álgebra se volvieron a convertir en la base de una especulación que tenía su razón de ser en el movimiento de los astros. Con ello, se desarrollaron instrumentos de cálculo –empezando por el compás o la regla– que fueron cruciales para erigir grandiosas catedrales desde la Edad Media hasta la Edad Moderna.

En tiempos de Copérnico y de Newton volvió a surgir la necesidad de construir máquinas para calcular que permitieran gestionar volúmenes crecientes de números con una precisión que el cálculo humano no

garantizaba. Fue el filósofo y matemático Blaise Pascal quien construyó, en 1642, una máquina que permitía sumar y restar números de hasta doce cifras obteniendo automáticamente los resultados. Pascal ideó el aparato para su padre, administrador de finanzas del rey de Francia. Esta máquina permitía determinar de forma fiable los ingresos derivados de los impuestos. El aparato se diseñó al principio según la unidad monetaria en curso en la época (la libra, dividida en 20 sueldos, cada uno de los cuales correspondía a 12 dineros). Se configuró sobre una base decimal basándose en el principio de que, una vez completada la ranura de las unidades, saltaba automáticamente la de las decenas y así sucesivamente. Se trataba, por consiguiente, de un ábaco mecánico que pudo confeccionarse porque en la época las tecnologías relacionadas con la relojería y, por lo tanto, con la mecánica de precisión estaban muy avanzadas. El rey de Francia concedió a Pascal la exclusividad para la producción y la comercialización de la «pascalina», de la que se fabricaron cincuenta ejemplares que se distribuyeron por toda Europa. Tal fue su difusión que, un siglo más tarde, Diderot y d'Alembert ofrecieron una descripción detallada que sirvió como base para el posterior desarrollo de las máquinas de cálculo.

Muchos años después, Babbage –que también teorizó los contenidos de la nueva producción industrial– diseñó un instrumento de cálculo más avanzado. Se trataba de un aparato de enorme complejidad que, sin embargo, no llegó a construirse, puesto que el parlamento inglés –a pesar de haber sufragado el proyecto– no lo apoyó por completo.

La primera máquina de Babbage, diseñada en 1822, permitía calcular polinomios de hasta séptimo grado. En 1837, Babbage propuso un aparato aún más sofisticado que no solo era capaz de realizar cálculos avanzados, sino que también podía llevar a cabo secuencias programables de acciones complejas. Para la programación de su máquina, Babbage habría usado fichas perforadas, similares a las que Jacquard había empleado a comienzos de siglo para hacer funcionar telares mecánicos o a las que se usaban en los autómatas de los carillones de los campanarios o en los organillos.

Babbage preveía una aritmética de base decimal capaz de realizar las cuatro operaciones, con una memoria interna de mil números de 50 cifras y una memoria externa que derivaba de la posibilidad de emplear fichas adicionales. Según las técnicas de la época, la máquina habría contado con una fuerza motriz a vapor que movería todo el sistema de engranajes del aparato. Del mismo modo que la pascalina fue el prototipo para las

calculadoras de mano que se han usado hasta hace poco, la máquina de Babbage constituye el arquetipo de los ordenadores programables, basados en un mecanismo de entrada de datos y de programas, en un sistema de elaboración central, en otro de memorias y en un mecanismo de emisión de los resultados y de su memorización. En realidad, Babbage llegó a rozar los límites de la tecnología mecánica, con engranajes, pesas y una máquina a vapor, de base decimal y, por tanto, analógica en la medida en la que simulaba una continuidad de la realidad. A pesar de ello, esos límites no llegaron a alcanzarse, puesto que el aparato nunca se construyó. No obstante, para seguir avanzando, se hacía necesario que estos conocimientos se complementaran con los descubrimientos que surgiesen de otro ámbito: el de la luz, la electricidad y el estudio de lo infinitamente pequeño.

Recuérdese que, también en aquellos años, concretamente en 1847, George Boole presentó un tipo de álgebra cuyas variables solo podían asumir los valores de verdadero y falso (simbolizados con 1 y 0). En aquel contexto, este descubrimiento también necesitaba de otros ámbitos para desarrollarse hasta convertirse en la base de los actuales lenguajes de programación mediante operadores lógicos.

Máquinas de cálculo y autómatas

La extensa historia de las investigaciones sobre la luz parte también de los orígenes de la humanidad, cuando el primer rayo, al atravesar el cielo de la noche, la iluminó. Durante la Ilustración se mostró un gran interés por los estudios acerca de los fenómenos eléctricos y magnéticos, con distintas teorías y varios experimentos en el ámbito del electromagnetismo. En 1830, Faraday presentó el primer generador electromagnético de corriente eléctrica, con una dinamo y un alternador. En pocos años, inventores como Joseph Henry, Samuel Morse y Werner von Siemens convirtieron esta innovación en la base de aplicaciones industriales que inauguraron el nuevo sector de las comunicaciones a distancia mediante el telégrafo. Los trabajos de Antonio Pacinotti y de Gramme desembocaron en la posibilidad de crear motores eléctricos. Tras la publicación de la obra de Maxwell, que unificaba las teorías de la luz y del electromagnetismo, Hertz, en 1888, descubrió las ondas electromagnéticas y dio comienzo a la experimentación acerca de su

transmisión a distancia, despejando el camino a nuevas invenciones que, a su vez, generaron una nueva industria.

El teléfono, la bombilla incandescente y el motor eléctrico se convirtieron en aplicaciones de una investigación que condensaba distintos filones de estudio y que condujeron, entre el ocaso del siglo XIX y los albores del XX , a la definición de las teorías sobre la existencia del electrón, a la teoría de los cuantos de Planck y a la teoría sobre la luz propuesta por Einstein.

En 1904, John A. Fleming descubrió la válvula termoiónica, el primer componente activo que, gracias a una fuente de energía externa, consigue generar una señal de potencia amplificada. Partiendo de estas válvulas, se pudo inventar la radio, que permitía transmitir impulsos eléctricos, pero también el sonido y la voz. Partiendo de estas válvulas, en 1946 el ejército americano puso en marcha la primera calculadora eléctrica, el Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC). El ENIAC funcionaba con aproximadamente 18.000 válvulas, requería una enorme cantidad de energía y era capaz de llevar a cabo doscientas operaciones por segundo. En 1946, John von Neumann decidió insertar en la memoria del ordenador tanto los datos como las instrucciones, de modo que el programa que se debía ejecutar ya no estaba determinado por una serie de conexiones físicas entre los componentes de la máquina, sino que se introducía en la memoria del propio aparato.

A esta primera generación de ordenadores le siguió una segunda entre 1955 y 1965 en la que las válvulas fueron sustituidas por transistores, es decir, por componentes electrónicos formados por cristales que tenían propiedades tanto conductoras como no conductoras. De este modo, dadas dos entradas y una salida, era posible obtener una «tabla de la verdad», esto es, una operación lógica cuyo resultado es binario (verdadero o falso) y, por lo tanto, alcanzable con la lógica booleana inventada cien años antes.

La tercera generación de ordenadores desarrolla circuitos integrados de transistores, condensadores y resistencias que definen secuencias de elecciones que, al reducirse progresivamente, permiten disminuir igualmente la dimensión de las computadoras y aumentar su potencia. En 1971, Intel presentó el primer microprocesador, que inauguró una cuarta generación de aparatos con la difusión de circuitos integrados a gran escala (1.000 componentes) y a muy gran escala (100.000 componentes). Estos permitieron, además del desarrollo de los ordenadores personales, la

integración de la informática con la telefonía, sentando las bases para el teléfono inteligente.

Aquí se cruza un nuevo camino que comenzó con los antiguos estudios de Antonio Meucci y Alexander Graham Bell, pero se desarrolló a partir de 1973, cuando Motorola desarrolló los primeros teléfonos móviles. Estos, sin embargo, no empezaron a fabricarse hasta diez años más tarde, en un primer momento con tecnología analógica, y después, de forma digital. Con este cambio no solamente se podían enviar mensajes de audio, sino también fotografías, archivos de música y cualquier elemento susceptible de digitalizarse, es decir, traducible al lenguaje binario. En 1992, IBM produjo un teléfono que incorporaba correo electrónico, con lo que abrió la puerta al teléfono inteligente. En 2007, se lanzó al mercado el iPhone, que se convirtió en el prototipo del teléfono como terminal que permitía una operatividad completa al estar conectado en todo momento.

Y es aquí donde también interviene la historia de internet, esto es, de la interconexión de ordenadores que pueden ubicarse en zonas muy lejanas entre sí. En 1958, el departamento de Defensa de Estados Unidos creó la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) para la investigación militar y espacial a largo plazo. Diez años después de su creación, la DARPA presentó la primera red que unía los ordenadores de sus distintos centros. En 1987, a esta primera red, que se denominó internet, estaban conectadas 10.000 computadoras en todo el mundo; dos años después, serían 100.000. En 1991, el CERN anuncia el nacimiento de la World Wide Web, es decir, de un sistema de navegación hipertextual que permite aprovechar directamente la enorme cantidad de datos presente en la red. En 2008, había 600 millones de usuarios en todo el mundo y, en 2015, se llegó a los 3.300 millones.

La fecha de nacimiento de los nuevos protagonistas de la economía digital esboza el panorama del sector: Microsoft se fundó en 1975, Apple en 1976, Google en 1998, Facebook en 2004, Amazon en 1995 (si bien no consiguió beneficios hasta 2003), Alibaba lanzó su primera plataforma en 1998, pero entró en la cotización de Hong Kong en 2007.

Una última intersección de disciplinas tiene que ver con la relación entre este desarrollo de la digitalización y la hiperconexión y la automatización industrial, que llega hasta los robots guiados mediante inteligencia artificial.

En todas las culturas existen mitos que hablan de humanoides capaces de ejercer funciones típicamente humanas. No se trata meramente de máquinas

que sirven al hombre en determinadas circunstancias; son artefactos complejos capaces de desempeñar una variedad más amplia de funciones y dotados de retroacción. Por lo tanto, pueden «aprender» siguiendo rutinas y desarrollar funciones para las que no estaban programados, pero también son capaces de percibir una realidad externa y, por ende, modificar continuamente su concepción del mundo.

La arquitectura ideada por Babbage se encuentra, cien años mas tarde, en las máquinas realizadas por Alan Turing y Von Neumann y, después, en ordenadores cuya potencia y capacidad de cálculo aumenta y cuyas dimensiones se reducen hasta convertirse en máquinas capaces de formular y operar en contextos no predeterminados. El desarrollo de la digitalización ha permitido transformar la visión de la realidad, que ha pasado de ser analógica, continuativa y cualitativa a convertirse en discreta, discontinua y numérica y, por ende, medible, acumulable y susceptible de ser administrada por máquinas que pueden recoger y elaborar grandes cantidades de números.

Con la invención del chip y de los procesadores, y con la posibilidad de conectar varios sistemas a través de internet, en la actualidad se ha llegado a disponer de aparatos que no solo recogen información, sino que reestructuran la realidad en la que operan o que no solo calculan elementos existentes o predicen de cara al futuro, sino que tienen la capacidad de gestionar producciones en condiciones impredecibles y de afrontar temáticas de dimensiones globales.

El desarrollo de las tecnologías que permiten simular el funcionamiento del cerebro humano conlleva innovaciones difíciles de prever y que deben conjugarse con los grandes problemas de nuestro mundo. Por lo tanto, por industria 4.0 no solo debemos entender el desarrollo de las industrias de producción disponibles para sustituir la mano de obra humana, sino el modo en que estas tecnologías están haciendo cambiar –o pueden hacer que cambie– la vida de las personas, tanto en su individualidad como en sus distintas formas de organización colectiva.

La prótesis de la mano artificial fabricada con materiales biocompatibles, dotada de sensores que pueden percibir la calidad de los materiales que se tocan y directamente conectada con la red neuronal de la persona que la usa, se convierte en el nuevo icono de las posibilidades de la innovación interdisciplinar. Sin embargo, para que esto se materialice, se requiere una nueva competencia ligada a la capacidad de gestionar conjuntamente varias tecnologías para dar respuesta a necesidades complejas que no dejan de

surgir. Esta competencia, en el fondo, encarna el sentido mismo de la nueva categoría empresarial que la revolución 4.0 conlleva.

En este sentido, las capacidades de abstracción, de representación y de convención se convierten, de nuevo, en la competencia de base necesaria para plantar cara a esta nueva fase. A ello se debe unir una nueva manualidad, crucial para el manejo de máquinas cada vez más complejas, desde el teléfono móvil (que se convierte cada vez con más fuerza en el terminal de todas nuestras acciones) hasta los robots que reemplazarán parte de nuestro trabajo, pasando por los exoesqueletos que llevaremos cuando algunas partes de nuestro cuerpo dejen de cumplir sus funciones.

Las antiguas máquinas de Pascal o de Babbage, como el ábaco ancestral, no representan sino la síntesis de una serie de conocimientos científicos y su transformación en aparatos cuyo valor radicaba en la capacidad de incrementar el trabajo humano, pero solo si quien los manejaba disponía de las habilidades, la destreza y el juicio –*skill, dexterity* y *judgement* – adecuados.

La industria de los números

Es imposible entender la esencia de esta revolución industrial sin profundizar en la capacidad de recoger, contabilizar y tratar cantidades enormes de datos, cada uno de los cuales supone información y, en su conjunto, implican un nuevo modo de ver la realidad y de prever el futuro. Este volumen de datos –el *big data* – es tal que se ha hecho necesaria la invención de un nuevo ábaco para poder medir sus dimensiones y, por ende, las capacidades de cálculo necesarias para el nuevo siglo.

La unidad de medida, que se llama FLOPS (del inglés *Floating Operations per Second,* 'operaciones de coma flotante por segundo'), representa, a grandes rasgos, el número de operaciones por segundo ejecutadas por una unidad central. Un *megaflops* indica que un ordenador puede llevar a cabo un millón de operaciones por segundo; un *gigaflops* implica mil millones; un *teraflops,* un billón; un *petaflops,* mil billones. El *exaflops,* que parece ser la nueva frontera en la actualidad, comporta un millón de billones de operaciones por segundo, con el objetivo de alcanzar el *yotaflops,* que conllevará mil millones de billones de operaciones por segundo.

Nombre	Flops
Yotaflops	10^{24}
Zetaflops	10^{21}
Exaflops	10^{18}
Petaflops	10^{15}
Teraflops	10^{12}
Gigaflops	10^{9}
Megaflops	10^{6}
Kiloflops	10^{3}
Flops	1

Tabla 2. Prestaciones de los ordenadores

No obstante, el criterio del «volumen de datos tratados por segundo» no basta para describir el *big data* . Es necesario considerar igualmente la «velocidad de generación de los datos», la «variedad de los datos» en relación con su fuente y su tipología, la «variabilidad del sentido mismo del dato» por lo que concierne al contexto mismo en que se genera y, por último, la «veracidad del dato», es decir, su certeza, su fiabilidad y su capacidad de ser demostrado (Maps, *Dal digital alla datizzazione del mondo,* 2017).

El volumen, la velocidad, la variedad, la variabilidad y la veracidad se convierten en elementos cruciales para definir los caracteres de interoperabilidad de los distintos sistemas de datos. Estos se ponen en relación entre sí para obtener representaciones complejas de la realidad que no serían posibles de otro modo, o para formular previsiones a las que no se podría llegar sin ellos, pero, sobre todo, se usan para crear mundos virtuales que, prescindiendo de los datos, ni siquiera podrían intuirse.

Los sistemas de datos conectados entre sí derivan de innumerables fuentes, que se pueden dividir en «estáticas» o «dinámicas». Las fuentes estáticas son bancos de datos consolidados, que llamamos *data mining,* es decir, minería de datos. Las fuentes dinámicas son *data driven,* esto es, están impulsadas por los datos. El *data mining* puede explicarse tomando como ejemplo una mina que tiene que excavarse para poder aprovechar los recursos; estas minas son las bibliotecas y los archivos, pero también los museos, las librerías en línea o los historiales clínicos. Las fuentes *data driven* son nuestros propios teléfonos móviles, que en cada momento

indican dónde nos encontramos, los datos sobre el clima, la información generada por las redes sociales o acerca del tráfico, del consumo de energía o del caudal de los ríos.

Estos datos pueden ser reservados o abiertos, es decir, accesibles a toda la comunidad, por lo que se convierten en un bien común. Victor Mayer-Schönberger y Kenneth N. Cukier, en su libro dedicado al *Big Data* (2013), emplean el término de «datización» para definir este proceso de uso de datos en el que se cruzan varias fuentes informativas para transformar realidades complejas de naturaleza cualitativa en información tratable y gestionable.

La paradoja de este mundo es que, al incrementar los datos en circulación, aumentan igualmente sus relaciones y, por lo tanto, la competitividad económica y las relaciones sociales. No obstante, este incremento de los datos hace que sea necesario generar intermediarios que direccionen y administren caudales de información que, de otro modo, serían imposibles de utilizar. Con esto, crece el poder de monopolio de estos intermediarios. Actualmente la atención se concentra en el poder de las plataformas –de Google a Facebook, pasando por Amazon o Alibaba–, pues la compra de los datos acerca de las elecciones o preferencias de los clientes o referidos al comportamiento conjunto de grandes colectivos representa una tipología de monopolio hasta ahora desconocida, pero no por ello menos importante para el desarrollo de la democracia.

La garantía de un pleno acceso a las tecnologías y, a la vez, a los datos con los que desarrollar nuevas actividades de producción y servicio se convierte en la condición indispensable para compensar los puestos de trabajo que se perderán al ser incorporadas nuevas máquinas. La introducción de nuevos aparatos en el ciclo productivo no daña el trabajo si, al mismo tiempo, este cambia y se adapta para utilizar esas mismas máquinas como instrumentos para crear más valor, que se deberá distribuir con equidad en una sociedad que debería encontrar una mayor cohesión interna y no dispersarse en su propia liquidez.

Hombres y robots

Partamos de la relación entre hombres y robots, entre el trabajo manual y las tareas automatizadas. Por lo que respecta al uso de robots en los procesos de producción, cabe destacar que en el modelo fordista las distintas actividades

se fragmentaban en tareas simples, que se colocaban a lo largo de una cadena sobre la base de una secuencia rígida. Las competencias de los trabajadores se reducían a las necesarias para poder llevar a cabo las tareas que correspondían al punto de la cadena en el que se encontraban. Por lo tanto, en la producción fordista se podían insertar máquinas que suplieran la mano de obra humana, pero se trataba de activar aparatos mecánicos capaces de llevar a cabo aquellas mismas tareas simples y prefijadas que se habían establecido a lo largo de una cadena de montaje que trabajaba a un determinado ritmo. Estas funciones han ido ganando en complejidad con las evoluciones posteriores, que han comportado la realización de máquinas capaces de ejecutar secuencias articuladas de operaciones que pueden ser alternativas entre sí, de manera que es posible diferenciar los bienes que se están fabricando.

Sin embargo, el uso de los robots actuales modifica significativamente este esquema: ya no se trata de máquinas que sustituyen al hombre en tareas que este puede desempeñar, sino de artefactos que llevan a cabo actividades que, por su precisión y condiciones ambientales, el hombre no puede hacer. Estos aparatos realizan funciones complejas que se basan en un sistema de interconexiones en el que la producción que materialmente se está llevando a cabo sigue el orden establecido por una producción virtual ya predefinida y estructurada.

En este modelo de producción el trabajo humano no se pierde, sino que se divide entre la planificación y la realización de actividades que ya no son solo rutinarias (sino creativas y relacionales) y la ejecución de aquellas labores que comportan un valor añadido tan bajo que no requieren maquinaria compleja. De esta separación deriva una fragmentación social, pero también laboral, pues en el mercado de trabajo surge un segmento altamente cualificado con amplios conocimientos y, por lo tanto, protegido ante los cambios y, frente a este, un sector escasamente competitivo y desprotegido. Este segundo grupo es susceptible de protagonizar conflictos sociales que ya no repetirán los esquemas de períodos anteriores, especialmente del fordismo maduro, durante el cual se estructuraron las relaciones industriales con organizaciones sindicales de representación colectiva.

Una serie de estudios recientes han retomado una antigua reflexión sobre los efectos de la mecanización del trabajo, que incluso Ricardo –en los albores del siglo XIX – llegó a estudiar. Así, Gabriele Marzano, en un

artículo de 2016 que sintetiza estas obras, vuelve al debate americano sobre el crecimiento sin empleo *(jobless recovery),* es decir, sobre el hecho de que, tras la crisis que comenzó en 2007 con el desplome del sistema financiero, la recuperación posterior no ha ido de la mano de una paralela disminución en la tasa de desempleo.

Erik Brynjolfsson y Andrew MacAfee en su *The Race Against the Machine* (2014) analizan este fenómeno desde la óptica del impacto producido por una innovación tecnológica que ya no se limita a reemplazar por máquinas a los trabajadores poco cualificados que desempeñan tareas simples –como ya había sucedido en el pasado–, sino que rápidamente se mueve hacia áreas que, hasta ahora, se consideraban a salvo, como los servicios. Algunas tareas rutinarias de cierta complejidad pueden ser automatizadas en nuestros días y desempeñadas mediante mecanismos con conexión remota. Piénsese, por ejemplo, en la profesión de cajero de banco, que en el pasado se consideraba un «puesto de trabajo seguro» y que ahora se está sustituyendo rápidamente por sistemas de banca electrónica en los que el usuario, desde su casa, puede acceder a todas las operaciones bancarias que precise sin necesidad de interacción humana.

Ya en 2003, David Autor, Frank Levy y Richard Murname esbozaron un modelo que preveía la expansión progresiva del uso de robots hacia ámbitos laborales en los que se desempeñaban funciones abstractas y tareas complejas, hasta entonces consideradas competencias exclusivas del trabajo humano. Estas actividades están cada vez más amenazadas por las innovaciones de la inteligencia artificial, que en el pasado solo se aplicaba a ámbitos específicos, pero que ya es capaz de activar procesos de autoaprendizaje que conciernen a amplios campos del conocimiento.

Autor también analizó en escritos posteriores (en 2013 con David Dorn y en 2015) el mercado laboral americano y tuvo que precisar que, en realidad, sobreviven muchos trabajos poco cualificados cuya pervivencia puede no estar amenazada debido a que el escaso valor añadido que conllevan no justifica el empleo de instrumentos complejos y caros. Así, Autor vaticina un mercado laboral polarizado en el que se sitúan, por un lado, los puestos que requieren escasa cualificación y, por otro, aquellos que demandan altas capacidades y unas características a las que aún no ha llegado la innovación tecnológica. Carl B. Frey y Michael A. Osborne (2013) identificaron tres sectores en los que la ingeniería se encuentra en una especie de «cuello de botella», por lo que el uso de la inteligencia artificial está limitado: la

percepción y la manipulación, pero, sobre todo, la inteligencia creativa (es decir, la capacidad de elaborar conceptos y artefactos originales) y la inteligencia social (esto es, la capacidad de relacionarse con las personas).

En torno a estos dos últimos aspectos ha surgido una extensa bibliografía que indaga acerca del concepto mismo de creatividad, para el que se busca una definición dinámica. En este sentido, Giovanni E. Corazza (2016) determina como un elemento crucial de los procesos creativos, además de la originalidad potencial de los resultados en relación con el conocimiento, lo que él denomina *effectiveness* . Se trataría de la medida en la que se consigue interactuar con el ambiente social y, por ende, de cómo una determinada actividad creativa percibe y cambia el contexto en el que se ha generado hasta el punto de contribuir a su dinamismo.

Por estos motivos, la franja más alta del mercado de trabajo actual exige competencias a través de las cuales se puedan utilizar los cada vez más frecuentes instrumentos tecnológicos que ofrece el desarrollo científico. Sin embargo, se requieren igualmente competencias relacionales y creativas que permitan elaborar y predisponer de soluciones originales e impredecibles y, sobre todo, interactuar con el contexto y contribuir a su cambio. En este sentido, IBM está apostando por convertirse en la empresa líder en inteligencia artificial gracias a su sistema Watson. La empresa habla de este ámbito como «inteligencia aumentada» y hace cada vez más hincapié en la capacidad de interactuación del hombre con las máquinas desde una óptica multiplicativa y no sustitutiva de las capacidades humanas.

Por otra parte, cabe recordar que el sueldo medio por hora de un trabajador americano del sector automovilístico es de 30 dólares y el de un obrero chino con la misma cualificación es de solo 3. Sin embargo, el gasto medio que conlleva una hora de trabajo robotizado se reduce a 0,30 dólares. Este hecho está generando amplios procesos de automatización en Estados Unidos, pero también en China, donde la taiwanesa Foxconn, principal subproveedor de Apple, ha anunciado la automatización de casi tres cuartas partes de su producción, que solo en China emplea a un millón de trabajadores.

Estas consideraciones permiten comprender tanto la disminución en el tráfico internacional de mercancías que hemos mencionado anteriormente como los fenómenos de *reshoring,* es decir, de retorno hacia los países industrializados de sistemas de producción previamente deslocalizados a países con un bajo coste salarial. Así, se vuelven a centralizar actividades

tanto «abstractas» como de fuerte contenido manual para la elaboración de bienes de alto valor añadido. Ejemplos de ello son la producción de Lamborghini por parte de Volkswagen-Audi o del calzado Berluti por parte de Louis Vuitton, llevados a cabo en Italia a pesar del alto coste del trabajo y gracias al alto valor añadido que generan tanto el uso de los instrumentos de «inteligencia aumentada» como las competencias profesionales ligadas a la calidad del producto. Estos procesos permiten descontar costes en el mercado de los bienes de lujo, en el que la competitividad en productos que se pueden calificar de «tradicionales» no depende del precio, sino de la exclusividad.

Por otra parte, en estos mismos sectores –como el automovilístico o el del calzado– existen segmentos de mercado dispares. Incluso aquellos productos que comportan un menor valor añadido pueden fabricarse en países avanzados mediante procesos totalmente automatizados con un coste medio que puede competir con los regímenes salariales más bajos. Sin embargo, estos procesos garantizan la calidad del producto final, algo que no ocurre con la mano de obra propia de esos niveles salariales. Muchas empresas están haciendo regresar su producción desde Europa oriental al centro del continente precisamente porque ahora tienen la posibilidad tanto de producir bienes de precio elevado y alta calidad en contextos en los que la competencia de los trabajadores está asegurada como de fabricar productos estándares con cadenas altamente automatizadas cuyos resultados cualitativos son fiables.

No en vano, el desarrollo de las tecnologías habilitantes permite transmitir en tiempo real comandos a instalaciones deslocalizadas en distintas partes del mundo, controlando puntualmente cada fase de la elaboración e incluso cada máquina implicada en el proceso, independientemente de dónde se sitúe. Esto sucede gracias a innovaciones como la impresora 3D, la gestión del *big data,* las nubes de almacenamiento, la ciberseguridad o internet de las cosas, es decir, la conexión directa de máquinas que se utilizan de forma cada vez más convergente. Si antes se disponía de un ciclo productivo desarticulado por fases y ubicado como consecuencia de las condiciones operativas que obligaba a que los productos intermedios y los componentes se desplazaran de un país a otro, ahora conviene construir instalaciones cercanas al cliente final en las que se fabriquen componentes y se ensamblen. En este modelo, son los datos los que «viajan» y no las mercancías.

Por lo tanto, cambia la organización de la cadena de valor global, que de un sistema desagregado (es decir, descompuesto) del ciclo productivo está caminando hacia un modelo que centraliza las fases de planificación y de mando, y desplaza a puntos cercanos a los mercados finales las fases de ensamblaje y asistencia, con lo que genera un sistema interconectado de producción de dimensiones globales. Este, a su vez, se relaciona de forma cada vez más estrecha con una estructura tecnocientífica que genera una innovación y un conocimiento globalizados.

De este modo se explican tanto la disminución del índice de crecimiento de los intercambios «materiales» internacionales como el aumento exponencial de intercambios inmateriales. Asimismo, no es ajena a este hecho la creciente polarización entre sectores laborales protegidos (situados en la franja superior de las competencias creativas) y mercados de trabajo cada vez menos tutelados (referidos a las tareas rutinarias e inestables), que delinea una dramática polarización social que está afectando a todo el mundo actual.

La relevancia actual de la innovación de las tecnologías habilitantes de la industria 4.0 (impresora 3D, inteligencia artificial, robots...) se observa con claridad en el volumen *Patents and the Fourth Industrial Revolution* (diciembre de 2017) de la Oficina Europea de Patentes. El número de las solicitudes de registro de patentes ha crecido desde 2001 y se ha acelerado durante la crisis, al acentuarse la apuesta por la innovación hacia las tecnologías de la industria 4.0. Esto demuestra, una vez más, que la crisis supuso un punto de inflexión en los cambios estructurales (fig. 8).

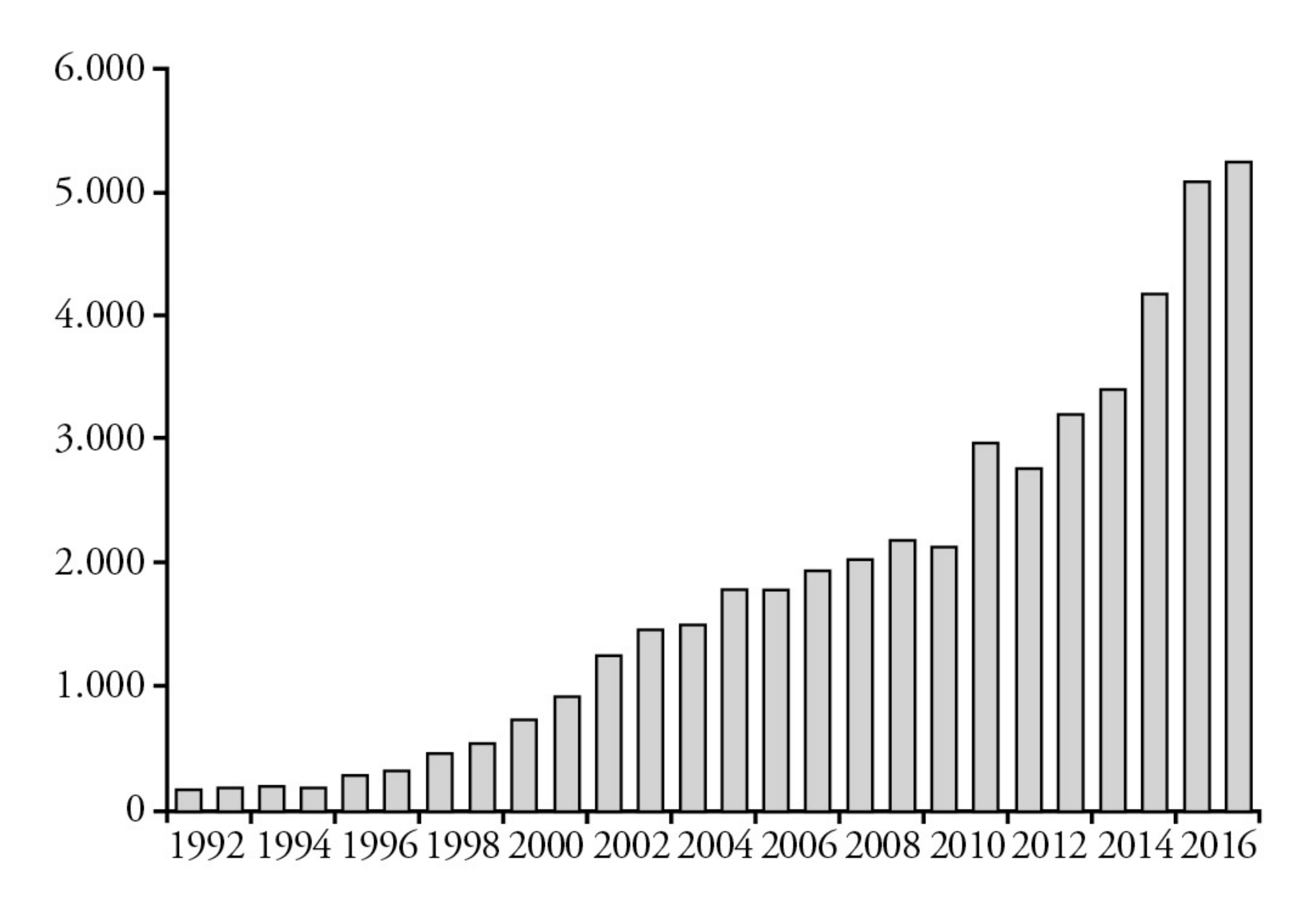


Figura 8. Solicitudes de registro de patentes, 1992-2016
Fuente: Oficina Europea de Patentes.

Tabla 3. Solicitudes de patentes ligadas a tecnologías 4.0 por parte de empresas (2011-2016)

Empresa	*País*	*Número de patentes 4.0*
Samsung	Corea del Sur	1.634
IG	Corea del Sur	1.125
Sony	Japón	885
Nokia	Finlandia	640
Huawei Technologies	China	577
Qualcomm	Estados Unidos	552
Blackberry	Canadá	520
Philips	Holanda	433
Intel	Estados Unidos	428
Panasonic	Japón	413
Honeywell	Estados Unidos	375
ZTE	China	314
Fujitsu	Japón	274

Technicolor	Francia	268
General Electric	Estados Unidos	267
Ericsson	Suecia	262
Boeing	Estados Unidos	260
Siemens	Alemania	256
Google	Estados Unidos	253
Nec	Japón	245

Fuente: Oficina Europea de Patentes.

A raíz de este punto de inflexión, las ocho empresas asiáticas (coreanas, japonesas y chinas) han sido, con diferencia, las que más patentes han registrado, seguidas por las norteamericanas y las europeas, en las que toman fuerza renacidas firmas nacionales. Recuérdese que Nokia, tras ceder su división de móviles a Microsoft, adquirió en 2015 Alcatel-Lucent, propietaria de Bell-Labs. La francesa Thompson compró la estadounidense Technicolor, líder histórica en la tecnología cinematográfica. En ambos casos, empresas europeas han adquirido las capacidades de investigación de históricas industrias americanas. En la lista de los líderes en innovación esbozada por la Oficina Europea de Patentes no aparecen empresas italianas. Estos simples datos prueban que durante la crisis los líderes tecnológicos mundiales han cambiado y, con ellos, su equilibrio de fuerzas en el mercado global (tabla 3).

Competencias, automatización y trabajo

Tratemos de esbozar ahora la relación entre las competencias, la automatización y el trabajo.

Usando el esquema de Autor, Levy y Murnane, minuciosamente revisado por Marzano, podemos identificar como variables relevantes para analizar la evolución de los procesos de automatización el grado de complejidad de las funciones (partiendo de las rutinarias, hasta llegar a las complejas) y el carácter abstracto o concreto de las tareas. En la primera revolución industrial se mecanizaron las labores rutinarias y manuales. Autor (2015) recuerda el caso de la agricultura, en la que la sustitución del hombre por la máquina conllevó que en Estados Unidos el 40% del empleo se localizase en el sector agrícola a principios del siglo XX y que, a finales de la centuria, ese porcentaje se redujese al 2%. Más tarde, desde la introducción de la máquina

de escribir y de los primeros ordenadores hasta la era de la banca electrónica, la automatización no solo ha reducido el empleo en la industria, sino también en el sector servicios y ha determinado una nueva fase de reestructuración de toda la sociedad.

En nuestros días se ha emprendido el camino hacia la automatización de funciones tanto complicadas como predeterminadas. Para estas últimas, se diseñaron máquinas automáticas y robots que pueden ejecutar secuencias complejas de comandos, si bien en la fase actual se están proyectando instrumentos capaces de hacer frente a funciones mucho más complejas y abstractas. Los procesos de inteligencia artificial que mueven estas máquinas están comenzando a desplazarse desde el área de la inteligencia artificial sectorial –especializada en un solo ámbito, por ejemplo, en jugar al ajedrez– hacia una inteligencia artificial general, cuya aplicación a distintos campos abre paso al autoaprendizaje gracias al intercambio de distintos modelos de conocimiento. Según Frey y Osborne, los límites del desarrollo de la robótica actual radican exclusivamente en la inteligencia creativa y en la inteligencia social. Es decir, en el conjunto de capacidades relacionales, negociadoras y cooperativas que constituyen una creatividad que –según el esquema de Corazza– no solo posee un potencial de originalidad respecto a soluciones precedentes, sino que cuenta también con un grado de *effectiveness,* pues es capaz de causar un impacto transformativo en el mismo ambiente que la hizo surgir.

Volviendo a las categorías que presentamos anteriormente, podemos decir, tomando como base las distintas actividades que se desempeñen, que es posible establecer vínculos entre el mayor o menor grado de *dexterity* (es decir, de manualidad) y las capacidades de *judgement* (esto es, de reflexión, relación, desarrollo y, en definitiva, de creatividad tal y como la venimos describiendo).

Así, podemos identificar cuatro situaciones significativas (fig. 9).

La primera de ellas es una situación de baja manualidad y baja creatividad que, por consiguiente, genera un escaso valor añadido. Estas son las actividades que se han automatizado de forma más rápida, por ejemplo, mediante el empleo de carros o brazos mecánicos que ejecutan secuencias preestablecidas de acciones simples para el traslado de componentes.

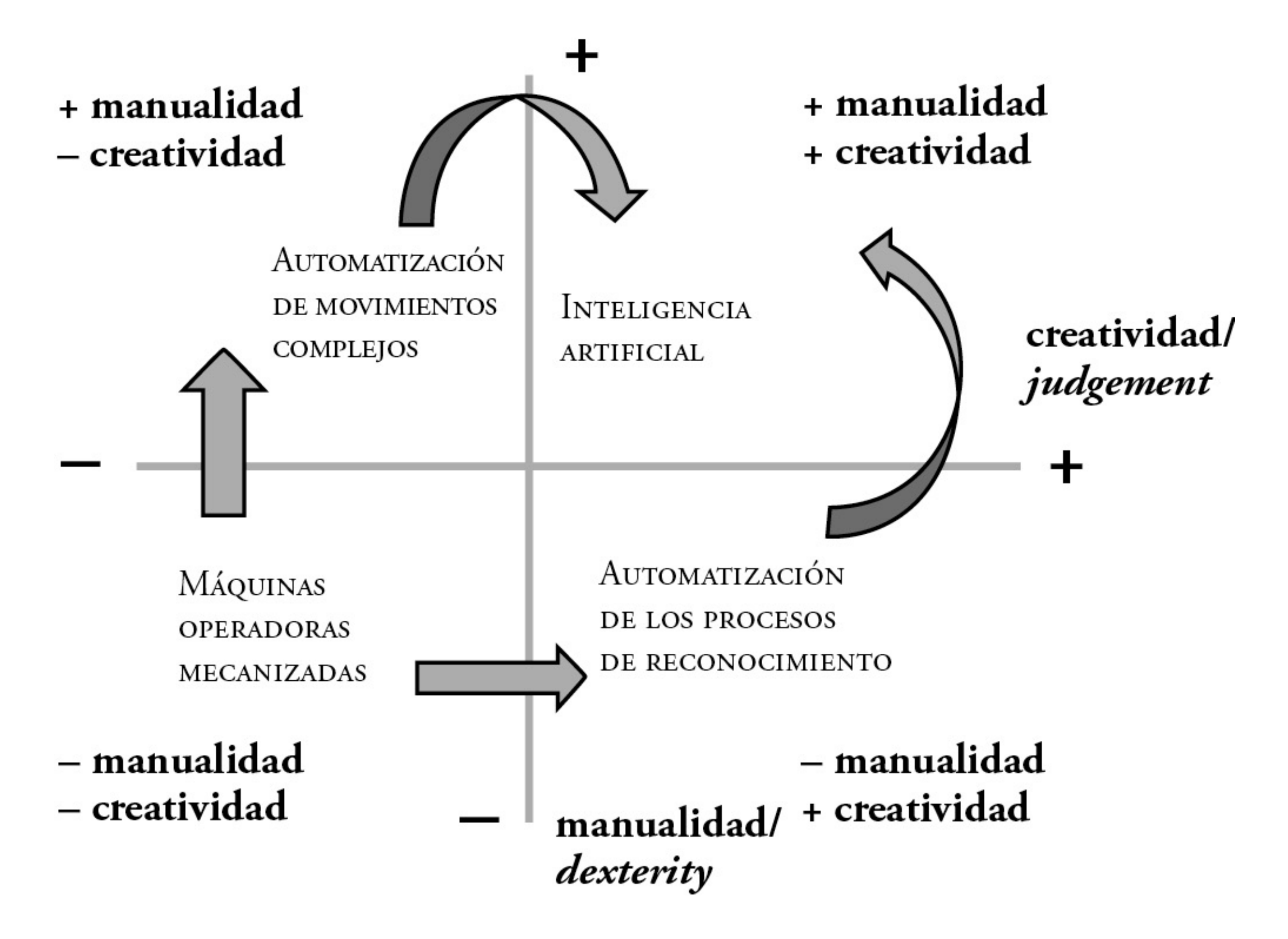


Figura 9. Cómo se combinan entre sí *dexterity* y *judgement*

A partir de esta primera fase se ha articulado una segunda, en la que las secuencias predeterminadas de comandos se alargan y complican hasta que configuran distintas soluciones o incluso llevan a cabo actividades que, por la capacidad de manipulación o las dificultades ambientales que entrañan, el hombre no puede realizar.

Por otra parte, el desarrollo de instrumentos de reconocimiento de los bienes en proceso de fabricación y la elaboración de datos de producción hacen posible que tareas cada vez más complejas se gestionen con máquinas que pueden realizar una amplia variedad de funciones.

Uniendo estos dos caminos se llega al desarrollo de los sistemas robotizados que permiten elaborar estrategias de respuesta y anticipación a problemas no predeterminados y, por lo tanto, a máquinas que pueden desarrollar una inteligencia propia que, más que sustituir, aumenta la capacidad creativa del hombre. Cabe, pues, preguntarse cuál es el futuro del trabajo en esta sociedad, en la que las máquinas pueden aprender y volverse

autónomas, como tantas veces se ha descrito en una larga tradición literaria que se bautizaba como ciencia ficción. ¿Se debe ser optimista o catastrofista ante un mundo en el que, una vez liberados del trabajo, desempeñaremos solo labores artísticas? ¿Qué cabe pensar al prever una sociedad degradada de hombres sin trabajo y al margen de unos sistemas productivos dominados por las máquinas?

Lo que observamos hoy es que, desgraciadamente, ambas visiones del mundo pueden coexistir: se está desarrollando una amplia área de automatización (fig. 10), al margen de la cual se están consolidando dos bloques que parecen alejarse cada vez más. Por una parte, encontramos un sector laboral altamente creativo y manual que debe administrar precisamente aquellos sistemas de producción que multiplican las posibilidades productivas. Este ámbito exige competencias más avanzadas e integradas. No se trata solo de ingenieros que conozcan los materiales, analicen las tendencias de los mercados e identifiquen las necesidades emergentes. Se trata también de técnicos que amplíen el valor añadido, de físicos y de químicos que tienen que responder a problemas globales o a nuevos conflictos industriales, de informáticos –o de científicos de datos– que se ocupen de las ciencias humanas y de estudiosos de humanidades y ciencias sociales que precisan de instrumentos de ciencia de datos.

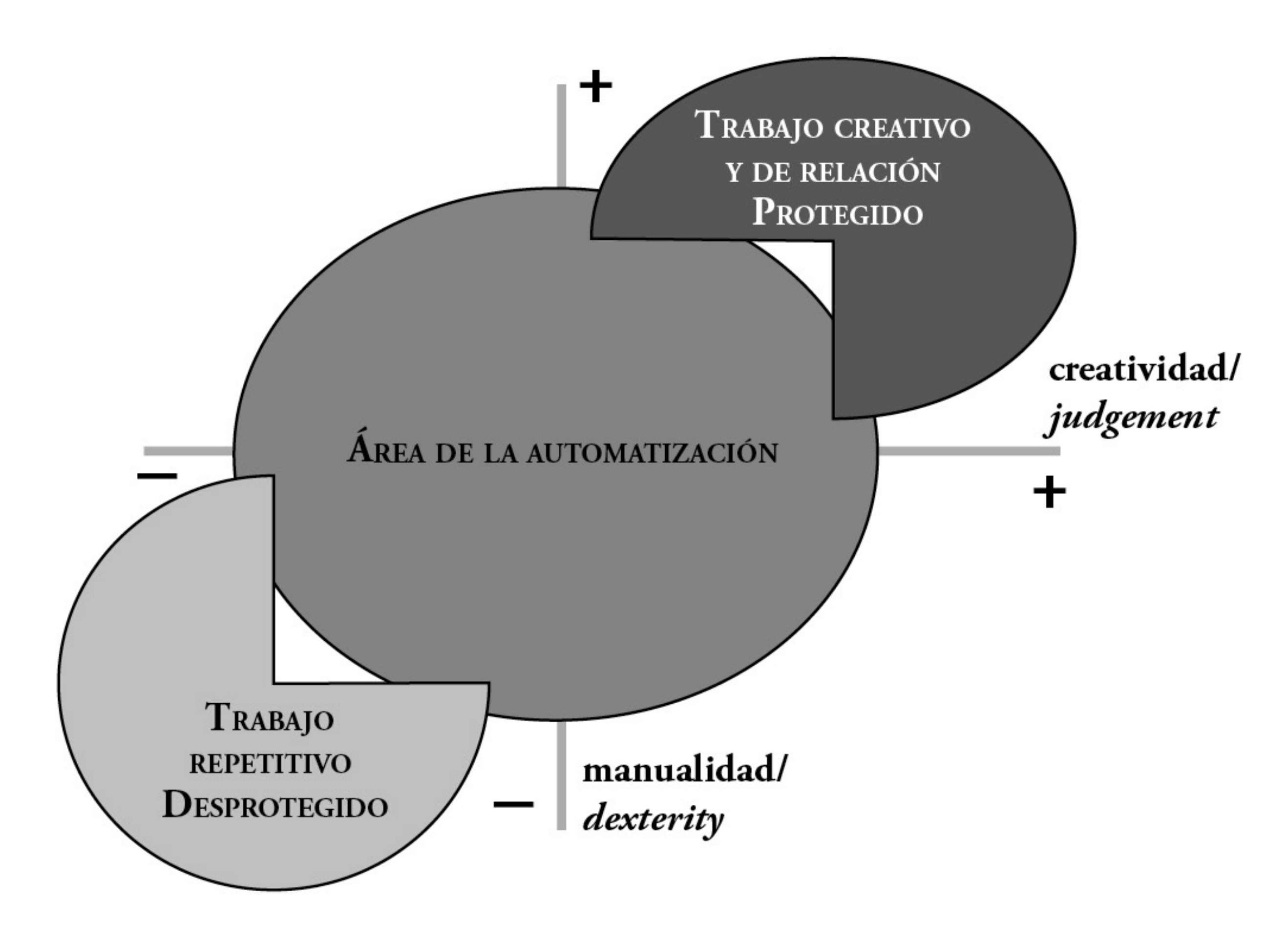


Figura 10. La polarización de las actividades del trabajo

Al mismo tiempo, está creciendo un bloque de empleos con escaso valor añadido y con condiciones contractuales completamente precarias, ligado al desarrollo de actividades repetitivas y estacionales en la medida en que están sujetas a la temporalidad o no son predecibles. Por consiguiente, esta área no exige de inversiones para la automatización y tampoco para una gestión de los recursos humanos que persiga valorizar las competencias, que están totalmente desprotegidas de cualquier tipo de tutela sindical. En Italia, en los sectores de la logística, de la gran distribución o de la industria cárnica, por ejemplo, se denuncian frecuentemente la precariedad y la reducción tanto de los sueldos como de la protección sindical. Esto lleva a un escenario en el que, en las grandes empresas de comercio electrónico, conviven puestos de trabajo protegidos y valorizados (los directivos y los que implican un alto valor añadido) con otros en los que las condiciones son absolutamente precarias y que carecen de protección de cualquier tipo (los que conllevan actividades de escaso valor añadido).

El riesgo de una sociedad dividida en bloques aislados amenaza con fuerza esta nueva industrialización e impone una mayor atención a las modalidades de organización sociales y, en última instancia, a la democracia misma. Así pues, cabe destacar el peligro de que estos dos grupos sociales dejen de reconocerse en los valores de solidaridad e igualdad que han fundado y vertebrado la Europa que surgió de la Segunda Guerra Mundial.

Transformación y economía digitales

Para evitar el riesgo de una sociedad dividida se deben generar nuevas actividades y hay que investigar y atender las nuevas necesidades individuales y colectivas para desarrollar nuevas competencias y nuevos modelos organizativos. El extraordinario crecimiento de las aplicaciones web –es decir, de las aplicaciones de telefonía móvil que se sirven de una conexión remota para responder a determinadas exigencias– ha abierto un ingente mercado del que han surgido necesidades latentes en todos los ámbitos, desde la música a los retrasos ferroviarios, desde el comercio electrónico hasta los métodos de estudio de lenguas extranjeras, desde las tendencias de la bolsa hasta el tiempo en una ciudad que se encuentra en el otro extremo del planeta.

Internet se ha convertido en un extraordinario lugar de desarrollo para nuevas actividades. El informe del Boston Consulting Group (BCG) *Digitizing Europe* mantiene que los países del norte de Europa tienen que guiar la digitalización de toda la economía del continente. Estos países, que ya han invertido enormes sumas en digitalización, tendrán un beneficio neto entre puestos de trabajo perdidos y creados entre 2015 y 2020 que se estima entre 1,6 y 2,3 millones de empleos. Estos *frontrunners,* como los califica el BCG, corren más rápidamente que Francia y Alemania pero, sobre todo, aventajan al sur de Europa. Esto implica que se está abriendo una nueva brecha en la Unión, por lo que esta debería reaccionar asumiendo como objetivo que todo el continente alcanzase los niveles de los países bálticos y de Irlanda, que funciona como plataforma de las empresas americanas en Europa.

Ricardo ya exploró estas cuestiones a comienzos del siglo XIX , cuando en Inglaterra empezaron a destruirse telares mecánicos porque reducían los puestos de trabajo. En el capítulo 31 de su obra *Principios de economía*

política y tributación (1821), recordaba que la mecanización puede ser perjudicial para los trabajadores, pues a corto plazo destruye el empleo, aunque en un plazo más amplio crea nuevos puestos de trabajo para producir y mantener las máquinas. Esta compensación, sin embargo, no sucede en términos estáticos, sino que amplía el horizonte de las actividades, genera nuevos trabajos y, con ello, crea nuevas competencias. Hoy en día, el motor de la industria a nivel mundial está constituido por empresas que, como se ha visto, hace solo treinta años ni siquiera existían, y muchas de las compañías que dominarán el panorama en los próximos treinta años probablemente sean ahora solo *start-ups* que crecen a la sombra de universidades que investigan en ámbitos no forzosamente ligados a aplicaciones inmediatas.

Jacques Le Goff, en su *Tiempo de la Iglesia y tiempo del mercader,* afirmaba, refiriéndose a la Edad Media, que los dos tiempos que dan título a su obra son distintos. Retomando sus palabras, podríamos decir hoy que los tiempos de la ciencia y de la industria también son distintos y que extensos itinerarios científicos, al entrecruzarse, pueden determinar aplicaciones tecnológicas capaces de generar una nueva industria y, por ende, un nuevo trabajo o, mejor dicho, nuevos trabajos. Sin embargo, es necesario contar con las competencias individuales y con una percepción colectiva para identificar estas conexiones y, sobre ellas, erigir nuevas iniciativas de producción. Esta es la materia de las nuevas políticas industriales, que tendrán que combinar la promoción de innovaciones por definición disruptivas, es decir, que destruyen los equilibrios preexistentes. Para ello, habrán de servirse de políticas de cohesión social capaces de ampliar aquellos sectores que puedan participar activamente en este crecimiento que, para transformarse en un desarrollo socialmente sostenible, tiene que convertirse en una acción de todo el sistema, de modo que actúe en todas las instituciones y organizaciones que gestionan el conjunto de la sociedad.

De cualquier modo, cabe recordar que la estabilidad de una sociedad no se basa solo en el crecimiento de estos nuevos ámbitos creativos, sino también en las garantías de protección y de los derechos de todos los trabajadores, incluidos aquellos que corren el riesgo de estancarse en la zona de precariedad estructural ligada a las bajas competencias y a la baja creatividad. Esto es imprescindible, pues, en el fondo, la calidad de vida de estos trabajadores se erige como la unidad de medida de la cohesión de una comunidad que aspira a conquistar el objetivo de un crecimiento sostenible.

5. Las políticas industriales para la cuarta revolución industrial

Las políticas nacionales para la industria 4.0

En estos últimos años, todos los países han desarrollado programas para permitir a su tejido industrial afrontar el gran cambio estructural que venimos denominando industria 4.0, lo cual no deja de ser paradójico. Todo el mundo comparte la idea de que estamos ante una transformación de dimensiones globales y, sin embargo, cada gobierno ha decidido poner en marcha una estrategia de ámbito nacional como si la dimensión nacional en una economía abierta y competitiva sirviese aún como modelo de referencia para este desarrollo. En otras palabras, como si en la economía global la competitividad todavía pudiera definirse como una lucha entre estados.

De este modo, a la *Industrie 4.0* de Alemania se oponen la *Industrie du futur* francesa, la *Industria conectada* española, la *Catapult – High Value Manufacturing* inglesa, la *Fabbrica intelligente* italiana o la *Produktion 2030* sueca. Todo ello sin llegar a captar que la escala europea parece hoy en día la mínima capaz de plantar cara a esta transformación estructural de un modo eficaz. El informe final de la X Comisión Permanente de la Cámara de los Diputados Italiana sobre la Industria 4.0 propone un marco en el que desarrollar estas acciones. Sin embargo, estas están formuladas de manera aislada y en paralelo entre sí y siguen ancladas a una dimensión nacional para afrontar en términos competitivos y no cooperativos problemas que, por su propia naturaleza, tienen una dimensión supranacional.

En el marco de estas acciones, sin embargo, se admite generalmente que las políticas públicas más radicales tienen que ver con la educación y la investigación. En concreto, con el desarrollo de aquellos aspectos «creativos» de la producción que parecen dar respuesta a las nuevas necesidades individuales o a las grandes problemáticas globales. Del mismo modo, todos los planes hacen hincapié en la necesidad de diseñar políticas

para gestionar la transición hacia nuevos regímenes tecnológicos y, a la vez, para plantar cara a los problemas sociales que este cambio impone.

El impacto en el empleo cobra importancia, pues, como recordaban los autores clásicos, hay un efecto de compensación a largo plazo entre los puestos de trabajo que se pierden con la automatización de las instalaciones y la expulsión del sistema de trabajadores «genéricos» y los puestos que se crean con la incursión de trabajadores «cualificados» para la producción y gestión de estas máquinas. No obstante, esta compensación no se manifiesta en el mismo lugar ni en la misma época que las pérdidas. En el período de transición que comporta convivirán los desempleados expulsados del sistema con aquellos que nunca han llegado a acceder a él, y ello se combinará con una necesidad no satisfecha de personal con determinadas competencias que la industria precisa. Esto se debe fundamentalmente a que los tiempos de la formación superior (por ejemplo, el tiempo necesario para que un ingeniero se prepare) son mayores que las necesidades que surgen de la aceleración tecnológica y de la competición global que caracterizan esta fase de «revolución».

Por ende, se hace necesario emprender un camino de planificación de las acciones públicas a largo plazo, para lo cual las distintas políticas tienen que actuar de un modo coherente en aras de crear un contexto social favorable para desarrollar competencias y responsabilidades adecuadas al nuevo escenario que se perfila a nivel global.

Como se desprende de la figura 11, son cuatro las acciones que pueden favorecer más intensamente esta transformación. Podemos subrayar estas intervenciones mediante una matriz que aúne una línea representativa de los factores del cambio, como la innovación y el territorio, con una línea que represente el «conflicto de la modernidad», que contrapone los derechos de las personas con la necesidad de generar recursos. En la intersección de ambos ejes tenemos cuatro campos de acción:

1. Entre los derechos y la innovación se sitúan las políticas de recursos humanos, que parten de las políticas educativas.

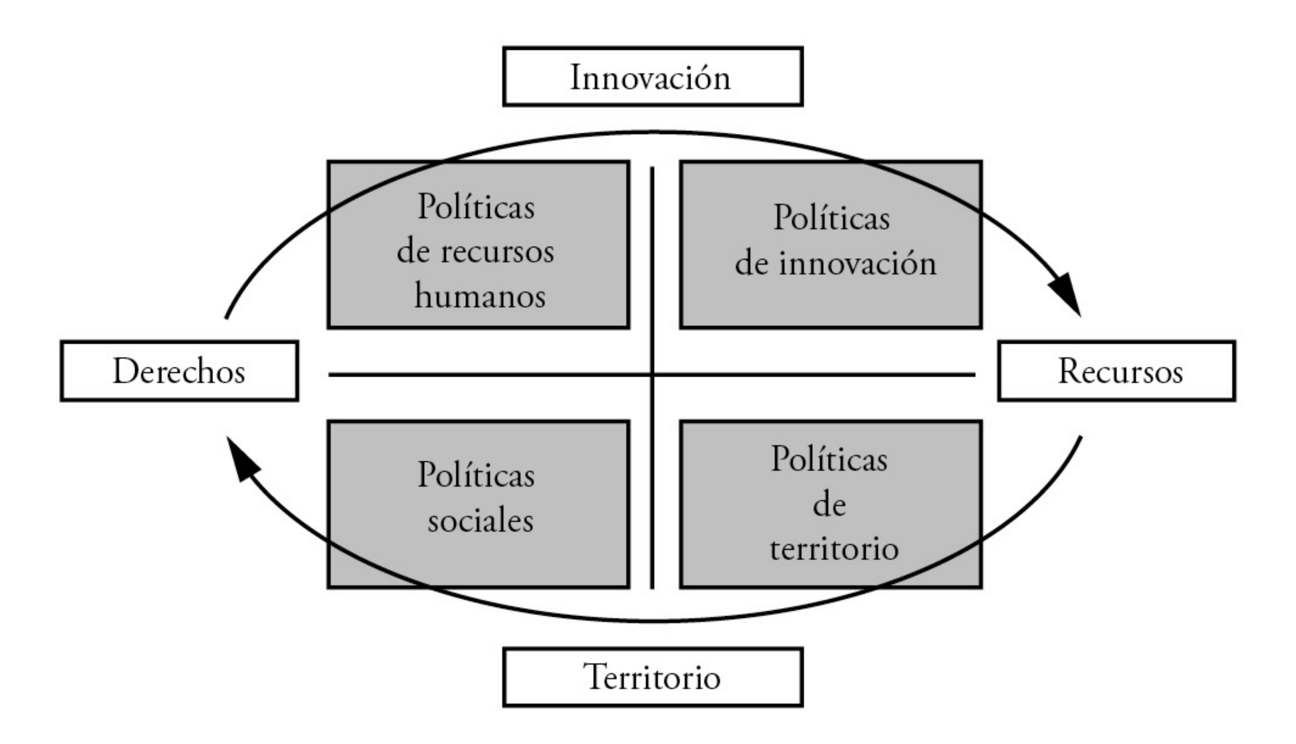


Figura 11. Esquema de las políticas de desarrollo industrial
Fuente: P. Bianchi y S. Labory, *Industrial Policy after the Crisis: Seizing the Future,* Cheltenham, Edward Elgar, 2011.

2. Entre la innovación y los recursos se encuentran las políticas de innovación industrial.
3. Entre los recursos y el territorio se hallan las políticas referidas a la preparación de infraestructuras del territorio.
4. Entre el territorio y los derechos de los ciudadanos están las políticas que deben garantizar los servicios y sostener a toda la comunidad, incluso a aquellos sectores perjudicados por el cambio social.

Todas estas políticas deben proyectarse y ponerse en marcha de manera integral y convergente.

Una política para un desarrollo sostenible desde el punto de vista ambiental y social debe basarse, ante todo, en una intensa acción conjunta entre la educación y la investigación, es decir, en el ámbito que se sitúa entre los derechos de las personas y la innovación de la sociedad. Basándose en la importancia de la investigación ha surgido en los últimos años una nueva conciencia, pero cabe recordar que el recorrido entre la investigación de base y su aplicación industrial no es ni lineal ni breve. Por ejemplo, hasta ahora determinadas aplicaciones tecnológicas se han producido años o

décadas después de que se formularan los principios científicos de los que derivan. Así, la física cuántica, que está en la base del nuevo desarrollo de la supercomputación, hunde sus raíces hasta los trabajos de Planck, que tienen más de un siglo. Es cierto que ahora, más que nunca, esta distancia tiende a reducirse, pero no es posible obtener un desarrollo de las tecnologías sin alimentar de la misma manera la investigación de base y si no se favorece la transversalidad entre disciplinas.

Asimismo, es esencial premiar la educación de excelencia pero, sin una acción en la que el conjunto del sistema educativo y profesional se combine con los sectores de la innovación y de la producción, esta medida carecerá de efectos.

Por consiguiente, la conexión entre los cuadrantes de los recursos humanos y de la innovación productiva debe ser objeto de las nuevas políticas industriales, al igual que las consecuencias de la combinación entre la educación y la innovación del territorio. Con ello, se transformarán las comunidades locales en sistemas vitales capaces de afrontar las crisis y de generar nuevas soluciones, premiar nuevas iniciativas y apoyar el esfuerzo colectivo de cara a los cambios. Sin embargo, esta resiliencia que se transforma en innovación social necesita un nuevo sistema de bienestar que se nutra de estas innovaciones y que se convierta en el nuevo terreno de cohesión que permita sustentar una nueva cultura, un nueva educación y nuevos recursos humanos que vuelvan dinámico todo el cuerpo social.

Recordemos que en este esquema se basa la programación plurianual del gobierno regional de Emilia-Romaña conocida como *Patto per il lavoro* (‘Pacto por el trabajo’, 2015). Este pacto ha sido apoyado y compartido por distintos agentes sociales y está permitiendo plantar cara de forma conjunta a la nueva situación a la vez que ha reducido notablemente el desempleo.

Desde esta óptica, cobra relevancia la reflexión acerca de los nuevos servicios que el territorio tiene que ofrecer para ayudar en este proceso de transformación. En estos casos, se da la paradoja de que, si son las autoridades públicas locales las que invierten en la implantación de estos nuevos servicios, es posible que los beneficios que acarreen vayan más allá de las fronteras de la soberanía local.

Por ejemplo, si una autoridad municipal –o regional, o nacional– impone una prohibición o un impuesto sobre objetos de su jurisdicción, esta acción tendrá un efecto determinado en las dinámicas locales. Sin embargo, si la autoridad «local» invierte para crear un polo tecnológico que innova en el

sector de la supercomputación, como el Bologna Big Data Technopole, las consecuencias de tal medida trascienden ampliamente el territorio en el que la iniciativa se desarrolla y obligan a concertar una acción con otras instancias del gobierno, en una gobernanza multinivel que se erige como el nuevo modo de proyectar e implementar políticas públicas de desarrollo.

Desde esta perspectiva, el nuevo papel de las instituciones nacionales y europeas en la formulación y puesta en marcha de las políticas públicas de desarrollo industrial tiene que ver cada vez menos con los subsidios que compensan las pequeñas producciones o las zonas marginales, al igual que ocurre con la incentivación de actividades productivas que se consideren estratégicas. En cambio, se deben centrar en la ardua labor de localizar ámbitos complementarios entre distintas especializaciones locales.

En el ámbito europeo, tras la «estrategia de especialización inteligente» *(Smart specialization strategy),* con la que la Unión animó a cada región a buscar sus propias especializaciones productivas, se hace necesario ahora recomponer estos sectores locales a través de una acción que podríamos llamar de «políticas de complementación inteligente». Estas favorecerían la unificación de las distintas realidades de investigación e innovación en un marco más amplio, capaz de afrontar los grandes desafíos de nuestra época y de evitar la fácil tentación de volver a las políticas nacionales.

Monopolios y antitrust en la era de la economía global

Para terminar, cabe hablar de cómo surgen los riesgos de monopolio ligados al creciente papel de las empresas que gestionan y funcionan como intermediarias de las operaciones en línea. Se trata de grandes plataformas (como Google, Facebook o Amazon) que, en muy poco tiempo, se han transformado en nodos cruciales de un sistema de comunicación que comporta la transferencia de datos personales, que se han convertido en una nueva fuente de control social.

Según un estudio de mercado llevado a cabo por Sensor Tower, una sociedad especializada en la evaluación del uso de las aplicaciones, en el primer trimestre de 2017 la descarga de aplicaciones en todo el mundo aumentó un 14% respecto al año anterior, hasta alcanzar los 13.500 millones, canalizados fundamentalmente a través de dos operadores: Google Play (8.800 millones) y Apple Store (4.400 millones).

El grado de concentración en la utilización de las aplicaciones salta a la vista a la luz de esta clasificación, que no tiene en cuenta las descargas de juegos (tabla 4).

Tabla 4. Descargas de aplicaciones, (1er trimestre de 2017)

Posición	*General*	*Apple Store*	*Google Play*
1	WhatsApp (2009)	Messenger	Facebook
2	Facebook (2004)	WhatsApp	WhatsApp
3	Messenger (2011)	Bitmoji	Messenger
4	Instagram (2010)	Instagram	Instagram
5	Snapchat (2011)	Facebook	Snapchat
6	UC Browser (2011)	YouTube	SHAREit
7	Uber (2009)	Google Maps	Uber
8	YouTube (2005)	FaceApp	Clean Master
9	SHAREit (2012)	Snapchat	UC Browser
10	Bitmoji (2008)	Uber	S Photo Editor

Las aplicaciones que conforman esta lista tienen funciones muy concretas (mensajería, vídeos o fotografías, transporte, técnicas de dibujos animados...), de modo que no compiten entre sí. Es más, su complementariedad funcional facilita que sean utilizadas por todos los usuarios directamente en el teléfono móvil. Cabe destacar que en la lista de Google Play no hay presente ninguna de las aplicaciones desarrolladas por Google, mientras en Apple Store aparecen tanto Google Maps como YouTube, que Google compró en noviembre de 2006.

Facebook se ha hecho en los últimos años con WhatsApp e Instagram, además de con la aplicación Messenger, de modo que esta empresa domina las cuatro primeras posiciones de la tabla. El quinto es Snapchat, fundado en septiembre de 2011 y que permite enviar mensajes de texto, fotografías y vídeos que solo se pueden visualizar durante 24 horas. En julio de 2016, Snapchat adquirió la canadiense Bitstrips, que en 2014 lanzó Bitmoji. UC Browser pertenece a la china Alibaba. SHAREit se lanzó en China como aplicación de Lenovo, la compañía de ese mismo país que en 2005 compró el sector de ordenadores de IBM y que en 2004 se hizo con Motorola Mobility, hasta entonces propiedad de Google.

Uber se mantiene independiente, pero cabe recordar que Google Ventures ha invertido recientemente grandes sumas en esta compañía. Además de

Google, en Uber también han invertido Toyota y Baidu, el principal motor de búsquedas chino (2000), puesto que los servicios de creación de mapas y de transporte cada vez se entrecruzan con más fuerza. Esta combinación será esencial para el desarrollo del coche autónomo, que se presenta hoy como uno de los proyectos más prometedores del sector automovilístico.

Por último, cabe resaltar que, en el sector de los motores de búsqueda, hoy en día está a la cabeza Google, con casi dos tercios del mercado, seguido de Bing (Microsoft) y del chino Baidu.

Esta lista demuestra que todas las empresas líderes se fundaron durante los años de la crisis, lo que viene a probar que esta constituyó el caldo de cultivo de una nueva fase para la economía mundial a lo largo de la cual los nuevos líderes diseñaron nuevos modelos de empresa. En otras palabras, y retomando una referencia que usamos al principio de esta reflexión, estos datos demuestran que la crisis, que inició con el colapso del sistema financiero estadounidense tras años de economía especulativa, se puede considerar una «travesía» estructural, es decir, una fase de cambios estructurales en la que las distintas velocidades de adaptación e innovación determinan los nuevos equilibrios de poder en el mercado y, en sentido más amplio, en la sociedad.

Compañías como las estadounidenses Google, Facebook, Apple, Microsoft, Amazon, Linkedin o eBay y las chinas Baidu, Alibaba y Tencent no se han limitado a abrir nuevos mercados y a crear nuevos modelos de negocio, sino que han rediseñado el ambiente social en que vivimos y han modificado profundamente el comportamiento de las personas, haciendo que surjan nuevas necesidades y codificándolas como elementos vertebradores de la sociedad de nuestro siglo.

Por ello, el proceso de concentración que estamos atravesando no solo tiene que ver con la monopolización de los mercados, con respecto a la cual todas las autoridades nacionales muestran carencias. Se trata también del futuro de una sociedad en la que los derechos de participación y de elección tienen que garantizarse.

La paradoja de la hiperconexión –como dijimos anteriormente– radica en el hecho de que, al aumentar la conexión, se incrementan las posibilidades de establecer nuevos vínculos y, por ende, crece la competencia. Sin embargo, esta alza de intercambios demanda una serie de intermediarios, que introducen un componente de monopolio sobre dichos intercambios y sobre el caudal de los datos. De este modo, se abren nuevos horizontes para

las acciones públicas, que tienen que proteger el mercado y la competencia, más allá de la imposición fiscal a unos intermediarios que generan un valor que escapa a todas las autoridades nacionales, pues operan en condiciones de minoría con respecto a estos operadores globales.

En este contexto surgen importantes problemas para garantizar la competencia y para proteger los derechos del consumidor. Sin embargo, de una forma aún más clara, surge el problema de la protección de los derechos de ciudadanía de las personas y de su derecho a la privacidad por lo que concierne a sus actuaciones.

A pesar de ello, la apropiación de los datos del consumidor por parte de las plataformas de intermediación constituye una parte estructural de la transformación que estamos viviendo. Ello se explica porque la capacidad de responder en términos personalizados a una determinada demanda individual implica poder disponer, no solo de los datos personales de los usuarios, sino también de sus preferencias, su ubicación, de la serie histórica de ciertas elecciones e, incluso, de las personas con las que el consumidor está en contacto. La apropiación de estos datos por parte de las empresas de producción, de compañías de comercio electrónico, de chats o de plataformas de intermediación que operan a escala global se erige como una característica fundamental de esta industria 4.0, aunque abre extraordinarios problemas de prevención de prácticas restrictivas de la competencia y, más en general, relacionados con los ciudadanos y su privacidad.

Conviene recordar que, desde la publicación del *Sherman Antitrust Act* (1890), la ley que sentó las bases de la política antimonopolio en Estados Unidos, estaba claro que cualquier intento de monopolizar un sector suponía un hecho constitutivo de delito, puesto que, al limitar la libertad de elección, vulneraba los derechos fundamentales de los ciudadanos americanos. Un reciente documento conjunto de la Autorité de la concurrence francesa y del Bundeskartellant alemán sobre *Competition Law and Data* (10 de mayo de 2016) prueba que el control de los datos se está convirtiendo hoy en día en la nueva base del poder de mercado, pues está comportando nuevas conductas anticompetitivas y, más en general, una ventaja en la competencia para quien controla los datos de una determinada población.

Cabe recordar que en la situación actual son los propios individuos los que, al inscribirse en una plataforma social, facilitan gratuitamente sus datos, sus gustos y sus imágenes, sobre los que pierden los derechos de propiedad. Asimismo, el *big data* no tiene que ver solo con el individuo

como consumidor sino, cada vez más, con su papel de ciudadano. No en vano, las redes sociales no solo sirven como intermediarias en las relaciones de amistad, sino también en los vínculos profesionales y en la participación en la vida social y política.

El control de las fuentes, de la rigurosidad y de la veracidad de los datos se convierte en una materia cada vez más importante para prevenir usos ilícitos de esta información y, por ende, de las relaciones que conlleva. En este caso, la cuestión de la privacidad linda con el tema, mucho más amplio, de la seguridad, entendida no solo como seguridad de los datos contra ataques informáticos, sino más ampliamente como seguridad nacional y capacidad de un país de garantizar su propia soberanía frente a operadores que tienen una esfera y una capacidad de acción mucho mayor que las autoridades nacionales aisladas. Lo que está en peligro es uno de los pilares de la acción del Estado: la regulación de la actuación colectiva para proteger los derechos individuales.

Por último, cabe recordar que se han citado multitud de empresas que operan a escala global en el sector de la vida colectiva que hoy en día está constituido por la producción, intermediación y gestión de los datos, pero ninguna de estas empresas tiene sus orígenes ni su sede operativa en Europa. Por una parte, se encuentran las sociedades que han surgido en lugares muy concretos de Estados Unidos, principalmente California o, más recientemente, en Nueva York. Frente a ellas, hallamos compañías de áreas muy definidas de China: Cantón, entre Hong Kong y Shenzhen, y Zhejiang, donde Alibaba tiene su base.

Asimismo, por lo que respecta a la «seguridad nacional» cabe destacar que en este mundo global se están generando extraordinarias concentraciones empresariales y territoriales con respecto a las cuales Europa no solo está atrasada, sino que es un área periférica. Por lo tanto, la Unión debería delinear un marco de forma prioritaria que supere las escalas nacionales y proponga reglas que puedan garantizar a nivel global tanto la privacidad individual como la seguridad colectiva a la vez que reestablezcan un principio de interés público sobre un patrimonio de datos que, al acumularse, se está convirtiendo en la verdadera riqueza de las naciones de nuestra época.

Un esquema de síntesis

Tracemos, para concluir, un esquema de síntesis con las nociones que hasta aquí hemos planteado.

Ante todo, esta profunda reestructuración que llamamos «cuarta revolución industrial» vuelve a poner en el centro del sistema económico a la producción; esto es, al proceso organizado de transformación de bienes que genera un valor añadido en relación con el resto de productores y con una demanda que cambia y se transforma. La producción es en sí misma la consecuencia y el estímulo de transformaciones profundas en los regímenes tecnológicos que estructuran la organización del trabajo y la lucha de mercados.

La transformación de los regímenes tecnológicos incide en la organización social propiamente dicha e implica a todos los actores del sistema que, al interactuar entre sí, determinan lo que podríamos definir como un «ecosistema dinámico» en el seno del cual se desarrollan las demandas y las respuestas de la transformación productiva. El gobierno de tales cambios conlleva la interacción de distintas autoridades, formales e informales, que regulan la vida colectiva y determinan soluciones diversas dependiendo de cómo los distintos niveles de responsabilidad interactúen entre sí. Por consiguiente, surge el problema de la coordinación entre autoridades públicas y sujetos privados (o representantes de privados), que puede asumir una forma jerárquica o de mercado. Esto es, regulada de forma piramidal o según una interacción que no exige mandos explícitos, debido, por ejemplo, al fuerte sentido común de pertenencia o de autogobierno. En cualquier caso, se trata de un sistema vivo y tanto más dinámico cuantas más condiciones de entrada y salida garantice y cuanto más evite cerrarse en sí mismo y agotarse.

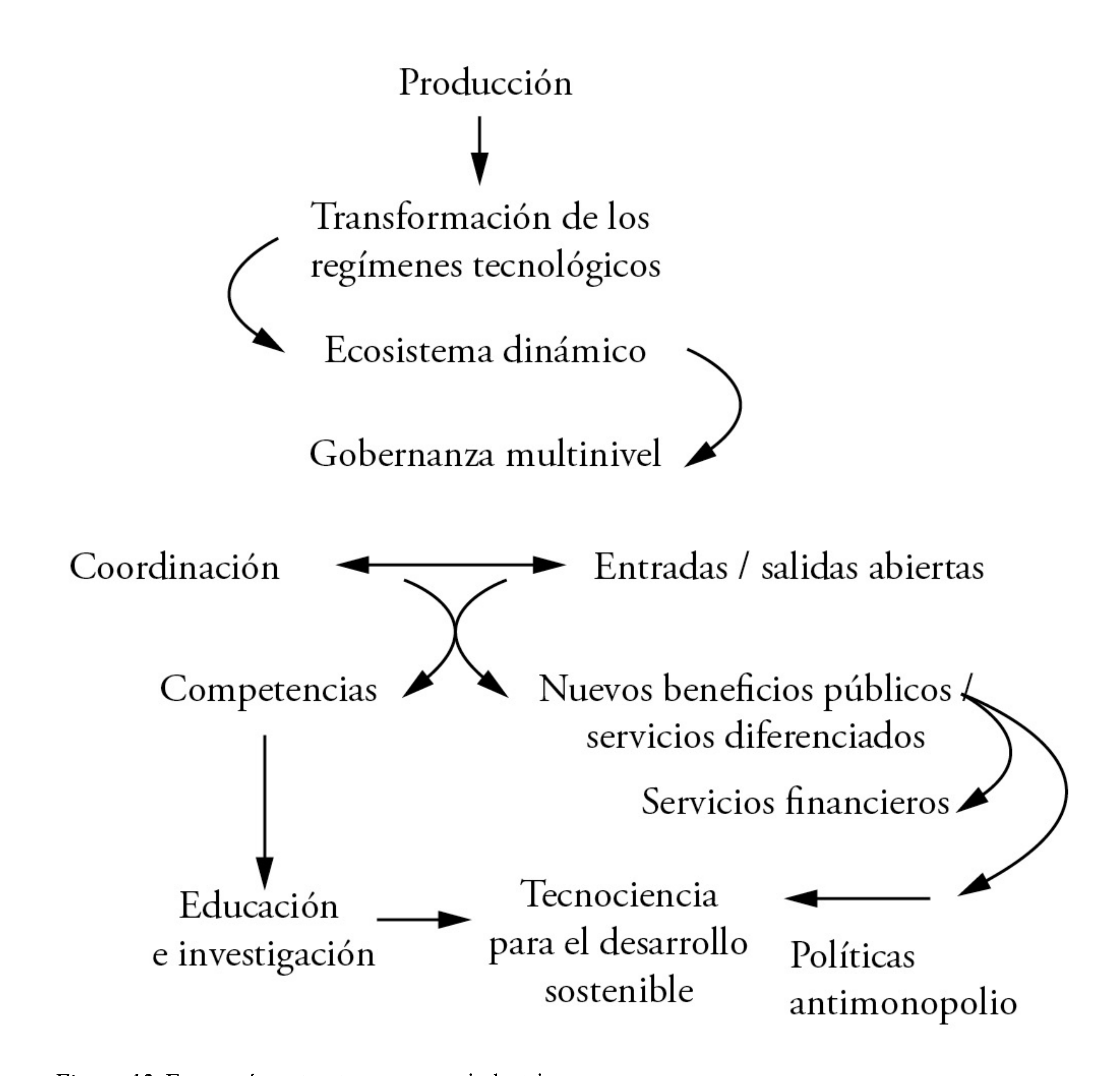


Figura 12. Economía, estructura y nueva industria

De esta interacción social tienen que surgir las competencias dinámicas que permitan al sistema adaptarse al cambio e innovar generando nuevas soluciones. Para esto, son cruciales la definición de la educación y de la investigación necesarias para el desarrollo del sistema y, a la vez, la determinación de los nuevos bienes públicos que mantienen unido el sistema y hacen posible la oferta de servicios encaminada a las necesidades específicas de esta situación compleja, por ejemplo los servicios financieros. De forma paralela, se hace necesario encontrar una nueva dimensión de las políticas que garanticen la competencia y la protección de los derechos de

los ciudadanos para evitar riesgos de monopolio que puedan bloquear el desarrollo de ese sistema dinámico que se ha descrito como el conjunto de todos los sujetos que –a través de su interacción autónoma, pero integrada– determinan los avances.

Del conjunto de estas condiciones emerge el papel dinámico del complejo de relaciones de producción, tecnología e investigación que hemos bautizado «tecnociencia para el desarrollo humano» y que, a nuestro juicio, sintetiza el elemento vertebrador de esta nueva revolución industrial. Es en este ámbito donde tendrán que batirse las políticas industriales de los distintos países y, esperamos, del conjunto de Europa: la reconstrucción de los sistemas integrados de investigación, educación y producción de manera que puedan plantar cara a los objetivos globales que Naciones Unidas ha fijado para nuestro siglo. Las grandes revoluciones que han marcado la historia del mundo siempre han tenido la ambición de transformar la sociedad. Las ambiciones de esta era tienen que confrontarse con las ingentes posibilidades que la ciencia y la tecnología pueden desplegar hoy en día para el futuro de una humanidad que ha perjudicado en buena medida su porvenir.

La revolución industrial que indicamos como 4.0 tiene que partir de una reflexión acerca de la producción y de su organización. Sin embargo, también tiene que conquistar nuevos horizontes, puesto que la capacidad de crear nuevos puestos de trabajo mientras se destruye parte de los antiguos depende de la capacidad de abrir nuevas actividades, nuevas fronteras y nuevas perspectivas, y esto exige *skills, dexterity* y *judgement* adecuados. De aquí deriva la necesidad de invertir en investigación y educación para apoyar una nueva creatividad que pueda explotar al máximo las posibilidades de unas tecnologías que, cada vez más, podrán reemplazar al hombre pero que, cada vez en mayor medida, deberán ser guiadas no solo por la ciencia, sino también por la conciencia de las personas.

Una cita final

Tras haber recorrido los muchos senderos que conducen hasta nuestro presente, tan rico de sugestiones tecnológicas, me gustaría terminar con una referencia algo más antigua.

En la película *Totò, Peppino y la mala mujer* (1956), Totò y Peppino son dos campesinos ancianos del sur de Italia que van a la gran ciudad, Milán, para buscar a su sobrino, que se ha escapado con una bailarina. Siguiendo la tónica meridional, van a la plaza del Duomo y esperan que el sobrino pase por allí, pues en todos los pueblos del sur la plaza es un obligado lugar de tránsito. Tras un rato de espera en vano, deciden preguntar a un policía, que representa a la autoridad. Para ello, Totò, que había hecho el servicio militar en el norte, sirviéndose de sus escasas nociones de los dialectos septentrionales, pregunta en un milanés macarrónico «nosotros... queríamos... quisiéramos saber... para ir donde tenemos que ir, ¿por dónde tenemos que ir?».

Esta podría ser la imagen de nuestra época, una era que no es tan líquida como pantanosa. Perdidos en la plaza de las plataformas multimedia, en una fase de descomunal desarrollo de las tecnologías de la comunicación, disponemos de excepcionales instrumentos de respuesta a objetivos que, sin embargo, a veces no parecen ni comunes ni identificados. Desde niños, todos nosotros parecíamos tener más cosas que decir que instrumentos para decirlas. En la actualidad, parece que contamos con más instrumentos para comunicarnos que palabras que decir.

Disponemos de medios extraordinarios para encontrar el camino mediante el cual llegar a un resultado («por dónde tenemos que ir»), pero hoy en día es crucial identificar el objetivo final de nuestra acción colectiva («dónde tenemos que ir»).

En la época en la que desarrollamos instrumentos, máquinas, inteligencia aumentada o robots que reemplazan a las capacidades humanas e incluso las superan, fijar los objetivos de nuestra acción común se erige como la obligación más importante para con nosotros mismos. «¿Dónde tenemos que ir?», no hay máquina, robot, red o servidor alguno que pueda responder por nosotros a esta pregunta, solo nosotros podemos darle respuesta. Menos mal.

Breve glosario de términos de la cuarta revolución industrial

Cada vez que un colectivo humano se organiza en torno a una nueva comunidad tiende inevitablemente a aparecer un nuevo lenguaje, que implica un nuevo léxico en el que a algunas palabras se les otorga un carácter esotérico, cuyo significado solo se muestra a los iniciados. Esto supone trazar una línea de incomprensión entre los miembros del grupo y los individuos que se sitúan más allá de las fronteras de este. Muchos de estos términos poseen un carácter metafórico, es decir, tienden a definir un concepto específico aludiendo a una imagen que, a su vez y por definición, puede despertar distintas sugestiones entre los usuarios según sus experiencias previas. Fijar estos términos en un glosario equivale, por expresarlo con una metáfora, a tomar una instantánea de un objeto en movimiento. Bajo este epígrafe, no obstante, enumeraremos algunos términos, si bien somos plenamente conscientes de que tras cada uno de ellos hay un universo en movimiento.

ANÁLISIS DE DATOS *(DATA ANALYTICS):* modalidad de organización y análisis de los datos para definir y administrar servicios cada vez más personalizados. Se trata de los mapas necesarios para no perderse en el mar de datos que nosotros mismos producimos continuamente.

APRENDIZAJE AUTOMÁTICO *(MACHINE LEARNING) :* la base de la inteligencia artificial deriva de la formulación de algoritmos que permiten que las máquinas que forman un sistema integrado aprendan, es decir, que acumulen y elaboren conocimientos. El hombre solo podrá controlar la evolución de las máquinas que aprenden si, a su vez, sigue aprendiendo y estudiando. También en este caso son numerosos los ejemplos literarios de máquinas inteligentes que se rebelan contra el hombre.

B IG DATA : la expresión se refiere a la capacidad de gestionar grandes cantidades de datos obtenidos a través de todo tipo de conexiones y dispositivos. Para poder ser útil, este ingente volumen de información

heterogénea debe abordarse creando un sistema de «análisis de datos» *(data analytics)* capaz de generar conocimientos adecuados y relevantes para tomar decisiones puntuales. La imagen a la que se recurre más frecuentemente para hablar del *big data* es la de un océano en el que poder navegar sin que la corriente nos arrastre. Para esto son necesarios mapas fiables y un cierto espíritu de búsqueda, sin pretender que los números den respuesta a preguntas que no sabemos formular.

CIBERSEGURIDAD : modalidad de comprobación y control de los flujos de datos que operan en los sistemas ciberfísicos para evitar su destrucción, distorsión o su apropiación indebida a través de internet. La nueva modalidad de guerra se articula mediante ataques informáticos que inoculan virus capaces de destruir memorias y capacidades operativas. Por lo tanto, la nueva defensa pasa por sistemas igualmente sofisticados que puedan derrotar a las nuevas epidemias y a los nuevos bombardeos. Un aspecto concreto de la ciberseguridad es el de la protección de los datos personales, cuyo control puede conllevar efectos devastadores para la vida de los individuos y para determinados comportamientos colectivos en aquellos casos en los que los datos persigan la manipulación o la alteración de estos.

C LOUD COMPUTING : véase COMPUTACIÓN EN LA NUBE .

C ODING : véase PROGRAMACIÓN .

COMPUTACIÓN EN LA NUBE *(CLOUD COMPUTING) :* el mundo en una nube. Supone la disponibilidad de servicios de almacenamiento, elaboración y transmisión de datos bajo demanda a recursos remotos preexistentes a través del acceso a internet. La imagen de la nube cargada de datos que vuela sobre nosotros alude a la idea de una dispersión de nuestros datos en un cielo poco definido en el que, de forma más o menos casual, se concentran nubes y posibles tormentas. También en estos casos la cuestión de la «ciberseguridad» y, por consiguiente, de la protección de nuestros datos personales se vuelve crucial para garantizar que esta nube informática esté a salvo de quienes pudieran usarla de forma indebida.

C YBER PHYSICAL SYSTEM, CPS : véase SISTEMA CIBERFÍSICO.

D ATA ANALYTICS: véase ANÁLISIS DE DATOS.

D ATA MINING : véase MINERÍA DE DATOS .

FABRICACIÓN ADITIVA : indica la realización de bienes partiendo de un modelado digital para el que se incorporan materiales. Desde el punto de

vista conceptual, esto invierte la típica manufactura que se basaba en el procesamiento que eliminaba materiales. La fabricación aditiva puede traducirse en la imagen de una fotocopia en tres dimensiones y se basa en internet de las cosas y, cada vez en mayor medida, en la inteligencia artificial. Este tipo de fabricación exige un cierto grado de manualidad, de *dexterity,* que precisa una formación adecuada.

INDUSTRIA 4.0: la expresión «Industrie 4.0» fue utilizada por primera vez por el gobierno alemán para apoyar a sus productores de maquinaria automática. Se pretendía desarrollar una acción de política industrial que persiguiese una estrecha integración entre empresas productoras, centros de investigación e instituciones. La clave de lectura es la integración (también de forma remota) entre máquinas de producción que se sirven de conexión a internet (véase *I NTERNET DE LAS COSAS).* Esto implica la conexión entre el mundo real y el mundo virtual; entre la información, los datos y los comandos y los productos fabricados. La indicación «4.0» indica la discontinuidad con respecto a las organizaciones industriales previas.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL : búsqueda y aplicación a sistemas de elaboración de aquellos conocimientos que permiten a las máquinas tomar decisiones autónomas. La definición de inteligencia artificial tiene que ver con el sentido último de lo que entendemos por «inteligencia», que ahora podríamos definir, con una cierta dosis de arbitrariedad, como la capacidad de atribuir un significado conceptual u operativo a una experiencia, de modo que se elaboren otros significados y se produzcan otras experiencias. Es obvio que este proceso de «dar significado a las cosas» no se materializa mediante la mera concatenación lógico-secuencial de hechos aislados. En los humanos, también se concreta en términos emotivos –teniendo en cuenta las emociones propias y ajenas, individuales y colectivas– que parten de esquemas individuales de reacciones a eventos basados en experiencias, en el comportamiento o en ideas; es decir, en la personalidad. La literatura ha explorado abundantemente este último aspecto al presentarnos seres artificiales dotados de sentimientos y emociones que, por ello, reivindicaban su propia autonomía. Quizás el ejemplo más conocido se encuentra en *Blade runner,* cuando el replicante Roy Batty muere frente al cazador y recuerda haber visto «cosas que vosotros no creeríais».

INTERNET DE LAS COSAS (ID C) : posibilidad de conectar directamente entre sí máquinas de producción (incluso aquellas ubicadas en instalaciones lejanas) utilizando recursos informativos remotos y desarrollando capacidades de aprendizaje. El IdC se ha convertido en la base para la creación de sistemas ciberfísicos situados en lugares no necesariamente cercanos los unos de los otros.

M ACHINE LEARNING: véase APRENDIZAJE AUTOMÁTICO.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO : capacidad de establecer los factores de riesgo que se deben gestionar por adelantado y de seguir todos los flujos reales y virtuales que estructuran la producción 4.0.

MINERÍA DE DATOS *(DATA MINING):* técnicas matemáticas que permiten extraer conocimiento a partir de la elaboración de ingentes cantidades de datos. En este caso, la metáfora alude a las profundidades de una mina de la que, al ahondar, se pueden obtener diamantes, un filón de oro o, simplemente, un breve destello destinado a perderse en la vorágine de la excavación.

PROGRAMACIÓN *(CODING) :* programación de sistemas informáticos con lenguajes codificados. El *coding* se basa en la lógica computacional, esto es, en la capacidad de afrontar problemas complejos utilizando de manera adecuada todos los instrumentos posibles. Con este fenómeno se recupera la antigua cuestión del lenguaje para poder dialogar, si bien hoy en día los interlocutores no son otras personas, sino las máquinas. A pesar de ello, no hay que perder de vista que estas son meros instrumentos para resolver problemas y que es el ser humano quien tiene la tarea de identificar claramente estas lagunas.

REALIDAD VIRTUAL : esta etiqueta parece un oxímoron. En realidad, se trata de un ambiente virtual que estimula una realidad en la que el operador externo se configura como interno, como un actor o, incluso, como el protagonista de la realidad que se recrea. En algunos videojuegos, los usuarios se mueven en una segunda realidad, que cada vez tiene más seguidores. La realidad virtual se hace necesaria para administrar sistemas complejos en los que es indispensable prever todas las posibles soluciones para reducir al mínimo los riesgos de la realidad efectiva. También en este caso, la nueva ciencia ficción –alimentada por los progresos en este ámbito– nos ha ofrecido imágenes memorables de

mundos virtuales cuyos protagonistas quedan atrapados sin ser capaces de identificar su verdadero espacio vital.

ROBOT : la palabra –que proviene del checo *robota,* 'trabajo forzado'– aparece por primera vez en el siglo XIX cuando, frente a la consolidación de la industria para la fabricación en serie, surge la necesidad de máquinas que reemplacen la mano de obra humana. Esta imagen ha hecho correr ríos de tinta en el ámbito de la literatura de ciencia ficción, aunque, en realidad, designa una variedad de máquinas con distintas funciones y que no solo son capaces de sustituir al hombre en ciertas tareas repetitivas y programables, sino que también pueden llevar a cabo labores que –por la precisión, el peligro o las condiciones que entrañan– el hombre no puede hacer. En estos últimos casos, se recurre, cada vez con mayor frecuencia, a la capacidad de la máquina para tomar decisiones autónomas y coherentes con la situación concreta.

ROBÓTICA COLABORATIVA : uso de robots que pueden interactuar directamente con el hombre y compartir su espacio vital. La evolución de la inteligencia artificial se ha convertido en el elemento clave de la nueva robótica colaborativa. Partiendo de la investigación acerca de robots antropomorfos –por ejemplo, mediante el desarrollo de mecánicas de movimiento con extremidades articuladas que simulan el modo de andar del hombre o de los animales– se avanza hacia máquinas cada vez más complejas y útiles para las personas. Piénsese en el diseño de los exoesqueletos, que llegan a sustituir a la musculatura humana en aquellos casos en los que esta se encuentre dañada o necesite un refuerzo para desempeñar sus funciones. Por hacer referencias a imágenes que ya forman parte de nuestro imaginario colectivo, recordemos *Star Wars,* a C-3PO, el obtuso robot que parece un mayordomo, y a R2-D2, con aspecto de aspiradora, pero capaz de resolver todos los problemas de los humanos que lo rodean. Cabe mencionar también al superpolicía de *RoboCop,* un híbrido de humano y máquina con las virtudes y los defectos que de ello se derivan.

SISTEMA CIBERFÍSICO *(C YBER PHYSICAL SYSTEM,* CPS) : modalidad de integración entre máquinas capaces de interactuar y aprender. Los sistemas ciberfísicos han adquirido importancia debido a que se usan para dirigir instalaciones de producción limitadas pero, sobre todo, porque regulan sistemas humanos completos, desde la movilidad de una

ciudad al tráfico aéreo de nuestros cielos pasando por la defensa de grandes países. De este modo, la salvaguarda de estos sistemas es crucial para el funcionamiento de la sociedad en su conjunto.

Para más información

Este libro es fruto de un largo trabajo de investigación y de aplicación de campo que he llevado a cabo con el grupo de personas con las que he compartido los últimos años. En primer lugar, con mis alumnos, que ahora se han convertido en maestros de esta disciplina. Muchas de las ideas aquí presentes hacen referencia a trabajos para los que colaboré con Sandrine Labory, entre los que destacan *Industrial Policy for the Manufacturing Revolution,* Cheltenham, Edward Elgar, 2018 y *Toward a New Industrial Policy,* Milán-Nueva York, McGraw-Hill Education, 2016. El análisis de la amplia crisis económica y de su impacto en los distintos sistemas políticos ya fue abordado con anterioridad en *Globalizzazione, crisi e riorganizzazione industriale,* Milán-Nueva York, McGraw-Hill Education, 2014, obra a la que remito para análisis más concretos acerca de la crisis y de su evolución en distintos países. Estos son los volúmenes preliminares y de estudio más profundo de algunas de las reflexiones aquí recogidas, que aconsejo a quienes deseen conocer lo que acaeció en anteriores episodios.

En los últimos tiempos, han visto la luz multitud de títulos centrados en la industria 4.0, un primer volumen de toma de contacto con la materia es el de Klaus Schwab, *La cuarta revolución industrial,* Barcelona, Debate, 2016. Acerca de la situación en Italia, son especialmente esclarecedores los volúmenes de Annalisa Magone y Tatiana Mazali, *Industria 4.0. Uomini e macchine nella fabbrica digitale,* Milán, Guerini e Associati, 2016 y de Luca Beltrametti, Nino Guarnacci, Nicola Intini y Corrado La Forgia, *La fabbrica connessa,* Milán, Guerini e Associati, 2017.

Hacen hincapié en las políticas industriales tanto Fabrizio Onida, *L'industria intelligente. Per una politica di specializzazione efficace* , Milán, Università Bocconi, 2017, como Riccardo Gallo, *L'industria fa la 4.ª rivoluzione industriale,* Milán, Guida, 2017.

Un libro que brinda una amplia visión de esta revolución industrial es el de Viktor Mayer-Schönberger y Kenneth N. Cukier, *Big data. La revolución*

de los datos masivos, Madrid, Turner, 2013.

El marco completo de las temáticas que conciernen a la industria 4.0 puede consultarse en el informe final de la X Comisión Permanente (Actividades productivas, comercio y turismo) de la Cámara de los Diputados de Italia bajo el título *Indagine conoscitiva su «Industria 4.0»: quale modello applicare al tessuto industriale italiano. Strumenti per favorire la digitalizzazione delle filiere industriali nazionali,* publicada en la *Gazzetta Ufficiale* del 30 de junio de 2016. Véanse igualmente Comisión Europea, *Building a European Data Economy,* Bruselas, 10 de enero de 2017 y Parlamento Europeo, *Industry 4.0: Digitalisation for Productivity and Growth,* septiembre de 2015. Recordemos, asimismo, los dos documentos de base con los que el gobierno alemán puso los cimientos de las acciones de coordinación de las que nace la misma etiqueta de «industria 4.0»: Bundesministerium für Bildung und Forschung, *Industrie 4.0, Innovationen für die Produktion von Morgen,* Berlín, 2015, y Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, *Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft,* Berlín, 2015.

Por lo que concierne a la historia de la industria y del desarrollo tecnológico, sigue siendo útil David S. Landes, *The Unbound Prometheus. Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present,* Cambridge, Cambridge University Press, 1969.

Uno de los protagonistas de la investigación acerca de la teoría de los cuantos ofrece una descripción de la misma en una obra deliciosa, se trata de Richard P. Feynman, *Electrodinámica cuántica: la extraña teoría de la luz y la materia,* Madrid, Alianza Editorial, 2020.

Sobre el impacto de las nuevas tecnologías en el trabajo, véase Gabriele Marzano, «Intelligenza artificiale e lavoro e mercato del lavoro: il recente dibattito americano», en *Economia & lavoro,* 2, mayo-agosto de 2016, pp. 159-180, así como algunos artículos que ya se han convertido en obras de cabecera en este ámbito: David H. Autor, «Why Are There So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation», en *Journal of Economic Perspectives,* 29, 3, 2015, pp. 3-30; David H. Autor y David Dorn, «The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of US Labor Market», en *American Economic Review,* 103, 5, 2013, pp. 1533-1597; David H. Autor, Frank Levy y Richard Murname, «The Skill-Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration», en *The*

Quarterly Journal of Economics, 118, 4, 2003, pp. 1279-1333. Asimismo, aconsejo tanto Erik Brynjolfsson y Andrew McAfee, *Race Against the Machine,* Lexington, Digital Frontier Press, 2011 como Carl B. Frey y Michael A. Osborne, *The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerization?,* Oxford, Oxford Martin School/University of Oxford, 2013.

A la luz de lo que la creatividad implica en el debate actual, resulta de gran interés Giovanni E. Corazza, «Potential Originality and Effectiveness: The Dynamic Definition of Creativity», en *Creativity Research Journal,* 28, 3, 2016, pp. 258-267.

En este libro hay cuantiosas referencias a autores clásicos y, sobre todo, a Adam Smith, de cuya obra existen distintas traducciones. Para las citas en inglés, se ha seguido la edición crítica Adam Smith, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations,* a cargo de R. H. Campbell y A. S. Skinner, Oxford, Clarendon Press, 1976. Las reflexiones recogidas en estas páginas hunden sus raíces hasta una obra de principios de los años ochenta que, a pesar del tiempo transcurrido, sigue constituyendo mi punto de partida: Patrizio Bianchi, *Divisione del lavoro e ristrutturazione industriale,* Bolonia, Il Mulino, 1984.

Para un estudio de las teorías de producción a caballo entre la primera y la segunda revolución industrial, siguen siendo válidos los primeros capítulos de Luigi Pasinetti, *Lecciones de teoría de la producción,* Madrid, FCE, 1983.

De cara al presente libro también han sido extremadamente útiles los trabajos de Roberto Scazzieri, tanto *A Theory of Production* (1993), Oxford, Clarendon Press, 2003 como *Production and Economic Dynamics* (en colaboración con M. A. Landesmann), Cambridge, Cambridge University, 1996, donde se estudia en profundidad la obra de Hicks y el análisis de las dinámicas estructurales de la economía.

A lo largo de estas páginas también se citan los trabajos de dos grandes maestros: el último libro de Giacomo Becattini, *La coscienza dei luoghi. Il territorio come soggetto globale,* Roma, Donzelli, 2015 y el primero de Paolo Sylos Labini, *Oligopolio y progreso técnico,* Barcelona, Oikos-Tau, 1966. Estos dos autores han contribuido de forma incalculable al análisis de la producción, que sigue siendo básico para entender cualquier tipo de

transformación de nuestros sistemas productivos y, por ende, de nuestra sociedad.

Agradecimientos

Numerosos son los agradecimientos que debo expresar una vez concluido este trabajo de recomposición de ideas acerca de un proceso de transformación social y económica tan amplio.

Ante todo, quisiera dar las gracias a Sandrine Labory, con quien en estos años he estudiado y publicado abundantemente sobre la transformación estructural de la economía mundial.

El último trabajo sobre las políticas industriales de cara a la cuarta revolución industrial (publicado por Edward Elgar en 2018) fue un momento fundamental para esta reflexión.

Un agradecimiento especial lo merece Roberto Scazzieri por su constante ánimo para explorar las transformaciones del mundo actual a partir del formidable aparato de instrumentos conceptuales que se basan en la economía clásica.

Agradezco a Elena Rossi y Cinzia De Robbio la constante, inteligente y apasionada atención con la que, juntos, tratamos de conjugar la reflexión y la acción cotidiana.

Para concluir, gracias a mi mujer, Laura, que siempre ha sido la lectora más atenta, exigente y preciosa de cada una de las palabras que escribo.

Título original: *4.0 La nuova rivoluzione industriale*
Traducción de Francisco J. Rodríguez Mesa

Edición en formato digital: 2020

Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15
28027 Madrid
alianzaeditorial@anaya.es

ISBN ebook: 978-84-9181-966-0

Conversión a formato digital: REGA

www.alianzaeditorial.es